

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Analýza optických parametrů prvků vyrobených z různých typů
polydimethylsiloxanu (PDMS)**

**Analysis of the optical parameters of the elements manufactured
from various types of polydimethylsiloxane (PDMS)**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michael Kalus**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Analýza optických parametrů prvků vyrobených z různých typů polydimethylsiloxanu (PDMS).**
Analysis of the optical parameters of the elements manufactured from various types of polydimethylsiloxane (PDMS).

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Polydimethylsiloxan je díky svým optickým vlastnostem perspektivním polymerem pro výrobu optických prvků. Cílem práce je výroba série optických prvků z různých typů polydimethylsiloxanu a následné změření jejich optických parametrů. Body práce:

1. Zpracujte rešerši zabývající se polydimethylsiloxanem.
2. Vytvořte sérii optických prvků z různých typů polydimethylsiloxanu.
3. Proměřte optické parametry jednotlivých optických prvků.
4. Dle získaných údajů porovnejte parametry jednotlivých kusů z různých typů polydimethylsiloxanu a vše přehledně shrňte.

Seznam doporučené odborné literatury:

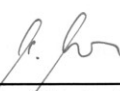
- [1] DAUM, V., J. KRAUSER, P.E. ZAMZOW a O. ZIEMANN. POF - Polymer optical fiber for data communication. Berlin, 2001. ISBN 3-540-42009-6.
- [2] DAUM, V., J. KRAUSER a O. ZIEMANN. POF Handbook : optical short range transmission systems. Springer, 2001. ISBN 978-3-540-76628-5.
- [3] WEINERT, Andreas. Plastic optical fibers: principles, components, installation. Erlangen: Publicis MCD Verlag, c1999. ISBN 3895781355.
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Zbořil**


Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. dubna 2017

.....*Kalás*.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Ondřeji Zbořilovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvoření válcových struktur z různých typů polydimethylsiloxanu a následné změření jejich optických parametrů.

Teoretická část se zabývá optickými vlákny, jejich rozdělením a útlumovými parametry. Následně jsou popsána polymerová optická vlákna, na která navazuje kapitola o polydimethylsiloxanech, kterými se zabývá praktická část.

V praktické části této je popsána příprava směsi a následná výroba jednotlivých optických vlnovodů, na kterých bylo provedeno měření útlumu a indexu lomu na různých vlnových délkách. Na závěr bylo provedeno zpracování naměřených hodnot a srovnání jednotlivých typů polydimethylsiloxanu mezi sebou.

Klíčová slova

Optické vlákno, Útlum, Polydimethylsiloxan, PDMS, Silikon, Sylgard, Dow Corning, POF, Index lomu

Abstract

The purpose of this thesis is to create cylindrical structures from different types of polydimethylsiloxane and subsequently measure their optical parameters.

The theoretical part of this thesis is dedicated to optical fibers, their variants and optical parameters. The next chapter describes polymer optical fibers and their difference from conventional optical fibers, followed by a chapter on polydimethylsiloxane.

The practical part is starting with describing preparation of the mixture and the subsequent production of optical waveguides, on which measurement of attenuation and refractive index at different wavelengths were made. At the end, the measured values of each type were processed and compared between each other.

Key words

Optical fiber, Attenuation, Polydimethylsiloxane, PDMS, Silicone, Sylgard, Dow Corning, POF, Refractive index

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 10 -
Seznam použitých zkratk.....	- 11 -
Seznam ilustrací a seznam tabulek.....	- 12 -
Úvod.....	- 14 -
1 Optické vlákno	- 15 -
1.1 Princip šíření světla optickými vlákny	- 15 -
1.2 Složení optického vlákna	- 16 -
1.3 Typy optických vláken.....	- 16 -
1.3.1 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu	- 16 -
1.3.2 Mnohovidová vlákna s gradientním průběhem profilu indexu lomu	- 17 -
1.3.3 Jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu.....	- 17 -
1.4 Útlum optických vláken	- 18 -
1.4.1 Disperze.....	- 18 -
1.4.2 Absorpce.....	- 18 -
1.4.3 Ohybové ztráty	- 19 -
1.4.4 Lineární rozptyl	- 19 -
1.4.5 Nelineární rozptyl.....	- 19 -
1.5 Přenosová okna optických vláken.....	- 20 -
1.6 Výroba optických vláken	- 21 -
2 Polymerová optická vlákna – POF.....	- 23 -
2.1 Základní vlastnosti	- 23 -
2.2 Typy polymerových optických vláken.....	- 24 -
2.2.1 SI-POF.....	- 24 -
2.2.2 SI-POF se sníženou numerickou aperturou	- 24 -
2.2.3 DSI-POF	- 25 -
2.2.4 MC-SI POF.....	- 25 -
2.2.5 DSI-MC POF.....	- 26 -
2.2.6 GI-POF	- 26 -
2.2.7 MSI-POF	- 26 -
2.3 Materiál polymerových optických vláken.....	- 27 -
3 Polydimethylsiloxan.....	- 28 -

3.1	Úvod.....	- 28 -
3.2	Sylgard	- 29 -
3.2.1	Sylgard 182 a 184.....	- 29 -
3.3	Dow Corning.....	- 29 -
3.3.1	3-4170.....	- 29 -
3.3.2	SE 1740	- 29 -
3.4	Momentive RTV 615	- 29 -
3.5	Porovnání vlastností použitých PDMS.....	- 30 -
4	Praktická část	- 31 -
4.1	Úvod.....	- 31 -
4.2	Příprava směsi	- 31 -
4.3	Výroba optických vlnodů.....	- 32 -
4.4	Příprava pracoviště pro měření	- 35 -
4.5	Elektronické prvky	- 37 -
4.5.1	Parametry použitých přístrojů	- 38 -
4.5.2	Blokové schéma zapojení.....	- 38 -
4.6	Měření útlumu.....	- 39 -
4.6.1	Sylgard 184.....	- 40 -
4.6.2	Sylgard 182.....	- 41 -
4.6.3	Dow Corning 3-4170.....	- 41 -
4.6.4	Dow Corning SE 1740	- 42 -
4.6.5	Momentive RTV 615.....	- 43 -
4.6.6	Srovnání měrného útlumu	- 43 -
4.7	Měření indexu lomu	- 44 -
4.7.1	Modrá LED dioda – 470 nm.....	- 46 -
4.7.2	Zelená LED dioda – 530 nm	- 46 -
4.7.3	Žlutá LED dioda – 590 nm.....	- 47 -
4.7.4	Červená LED dioda – 624 nm	- 47 -
4.7.5	Bílá LED dioda.....	- 47 -
4.7.6	Srovnání indexů lomů	- 47 -
	Závěr	- 49 -
	Použitá literatura	- 50 -
	Seznam příloh.....	- 52 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
A	dB	Útlum
a	dB/km	Měrný útlum
n₁	-	Index lomu jádra
n₂	-	Index lomu pláště
P_{VST}	W	Vstupní výkon
P_{VYST}	W	Výstupní výkon
l	km	Délka vlákna
α	°	Úhel menší než kritický
θ	°	Úhel navázání
θ_1	°	Mezní úhel na rozhraní jádra a pláště
λ	nm	Vlnová délka

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
ATM	Asynchronous Transfer Mode - Standard pro vysokorychlostní síťovou architekturu
DSI-MC-POF	Multiple Cores Double Step Index-Polymer Optical Fiber - Vícejádrové polymerové optické vlákno s dvojitým skokovým indexem lomu
DSI-POF	Double Step Index-Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno s dvojitým skokovým indexem lomu
GI	Graded Index - Gradientní index lomu
GI-POF	Graded Index - Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno s plynulou změnou indexu lomu
LAN	Local Area Network - Lokální síť
LED	Light Emitting Diode - Dioda emitující světlo
Low-NA-POF	Low-Numerical Aperture-Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno se sníženou hodnotou numerické apertury
MC-SI-POF	Multiple Cores Step Index-Polymer Optical Fiber - Vícejádrové polymerové optické vlákno se skokovým indexem lomu
MSI-POF	Multicore Step Index-Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno s vícenásobným skokovým indexem lomu
NA	Numerical Aperture - Numerická apertura
PDMS	Polydimethylsiloxane - Polydimetylsiloxan
PMMA	Polymethylmethacrylate - Polymetylmetakrylát
POF	Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno
PVC	Polyvinylchlorid
SI	Step Index - Skokový index lomu
SI-POF	Step Index - Polymer Optical Fiber - Polymerové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu
WDM	Wavelength Division Multiplexing - Vlnový multiplex

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Princip totálního odrazu	15
1.2	Složení optického vlákna	16
1.3	Přenos vidů v optickém vlákně MM SI	17
1.4	Přenos vidů v optickém vlákně MM GI	17
1.5	Přenos vidu v optickém vlákně SM SI	17
1.6	Útlumová charakteristika	20
1.7	Dvoukelímková metoda	21
1.8	Metoda tažení z preformy	22
2.1	Porovnání průměrů POF se skleněnými vlákny	23
2.2	Profil indexu lomu SI-POF	24
2.3	Profil indexu lomu LOW-NA-POF	24
2.4	Profil indexu lomu DSI-POF	25
2.5	Profil indexu lomu MC-SI-POF	25
2.6	Profil indexu lomu DSI-MC-POF	26
2.7	Profil indexu lomu GI-POF	26
2.8	Profil indexu lomu MSI-POF	27
3.1	Chemické složení polydimethylsiloxanu	28
4.1	Vlevo odstátá směs po 12 h, vpravo čerstvě namíchaná směs	32
4.2	Nahoře narovnaná hadice, dole po nařezání	32
4.3	Sestava pro výrobu válcových vlnovodů včetně plnicí inj. stříkačky	33
4.4	Vytahování válcové struktury z hadice	34
4.5	Řezací soustava	34
4.6	Vlevo řez pomocí sestavy, vpravo řez lámacím nožem	35
4.7	Měřicí soustava Thorlabs pro měření útlumu	36
4.8	Měřicí soustava pro měření indexu lomu	37
4.9	Blokové schéma zapojení	38
4.10	Očíslování jednotlivých vlnovodů	39

4.11	Thorlabs software pro měření výkonu	40
4.12	Graf průměrného měrného útlumu	44
4.13	Vytvrzené prvky ze SE 1740 pro měření indexu lomu	45
4.14	Pohled do refraktometru při modré barvě o vlnové délce 450 nm	46

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
3.1	Vlastnosti vhodných PDMS	30
4.1	Směšovací poměry a doby tvrdnutí použitých PDMS	31
4.2	Základní parametry LED diod	37
4.3	Sylgard 184 – měrný útlum	40
4.4	Sylgard 182 – měrný útlum	41
4.5	Dow Corning 3-4170 - měrný útlum	42
4.6	Dow Corning SE 1740 - měrný útlum	42
4.7	Momentive RTV 615 - měrný útlum	43
4.8	Průměrné hodnoty měrného útlumu	44
4.9	Průměrný index lomu pro modrou barvu – 470 nm	46
4.10	Průměrný index lomu pro zelenou barvu – 530 nm	46
4.11	Průměrný index lomu pro žlutou barvu – 590 nm	47
4.12	Průměrný index lomu pro červenou barvu – 624 nm	47
4.13	Průměrný index lomu pro bílou barvu	47
4.14	Porovnání naměřeného průměrného indexu lomu s udávaným indexem lomu	48

Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo vyrobení válcových vlnovodů z různých typů polydimethylsiloxanu. Na těchto vlnovodech bylo realizováno měření útlumu a indexu lomu v závislosti na použité vlnové délce.

První kapitola se zabývá optickými vlákny, používaných v dnešních sítích. Nejprve je vysvětlen princip, který umožňuje přenášet data na velké vzdálenosti pomocí světelného paprsku. Na to navazují útlumové parametry, které nám ovlivňují přenosovou rychlost a dosažitelné vzdálenosti na optických vláknech, jako jsou například rozptyly, absorpce nebo ohybové ztráty. Dále je vysvětlena samotná výroba optických vláken.

Druhá kapitola se věnuje polymerovými optickými vlákny, která i přes své vysoké útlumy dosahujících až stovek dB/km nalézají v dnešní době uplatnění například v automobilovém průmyslu.

Třetí kapitola popisuje polydimethylsiloxan, který spadá právě do polymerů. Zde jsou rozepsány typy a vlastnosti polydimethylsiloxanu, které jsou následně použité v praktické části.

Ve čtvrté kapitole je popsána praktická část této bakalářské práce. V první řadě musel být vymyšlen vhodný postup výroby optických vlnovodů, který nám zaručoval určitou podobnost vlnovodů. Výroba byla postupně zdokonalována až do bodu, kdy bylo možné na vlnovodech provést měření optických parametrů. Pro měření bylo nutné sestavit měřicí soustavy, na kterých bylo možné vybrané polydimethylsiloxany proměřit. Pro stavbu měřících sestav byla použita stavebnice Thorlabs. Na závěr praktické části jsou porovnány jednotlivé útlumy a indexy lomu jednotlivých vlnovodů na různých vlnových délkách.

1 Optické vlákno

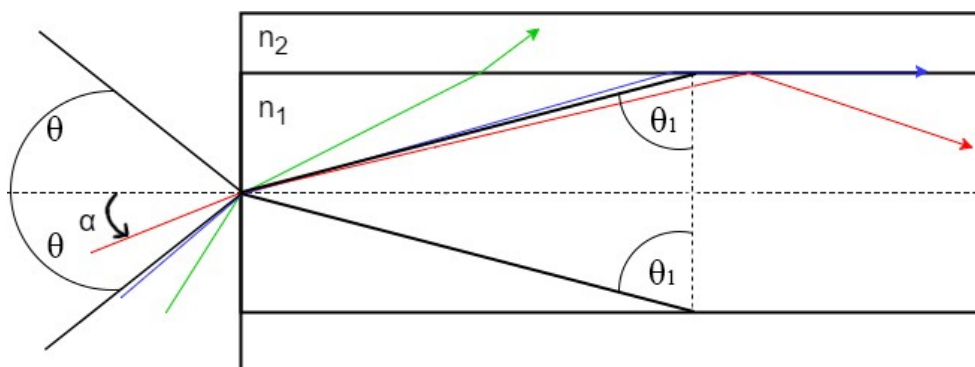
Optické vlákno je dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny ve směru osy na základě principu totálního odrazu na rozhraní dvou optických prostředí s rozdílnými indexy lomu. V dnešní době se používají pro výstavbu telekomunikačních sítí a nahrazují tak metalické kabely, které mají mnohonásobně nižší přenosové rychlosti. Mezi výhody patří například bezpečnost vůči odposlechům, vysoká odolnost vůči elektromagnetickému rušení a nízká hmotnost kabelů.

Nejčastěji používaná optická vlákna jsou skleněná, která se vyrábí z oxidu křemičitého. Ve vyšších vlnových délkách se můžou používat materiály jako fluoridová skla, krystaly obsahující halogeny a chalkogenní skla. [1]

V 60. letech se pro výrobu začal využívat i plast, konkrétně polymer. Polymerová vlákna měla extrémní útlum dosahující až 1000 dB/km, což způsobovalo jejich nepoužitelnost v praxi. V 70. letech se podařilo útlum polymerických vláken snížit až na 125 dB/km. V té době se útlum u skleněných vláken pohyboval kolem 1 dB/km. [2]

1.1 Princip šíření světla optickými vlákny

Aby došlo k šíření světelného paprsku optickým vlnovodem, musí být splněna podmínka totálního odrazu, při které musí být index lomu jádra n_1 větší než index lomu pláště n_2 a světlo musí dopadat na rozhraní jádra a pláště vzhledem ke kolmici k rozhraní pod úhlem větším, než je mezní úhel. V případě dopadu paprsku pod menším úhlem, než je úhel mezní, dojde k vyvázání světla ven z jádra do pláště, přičemž dochází k ztrátě výkonu.



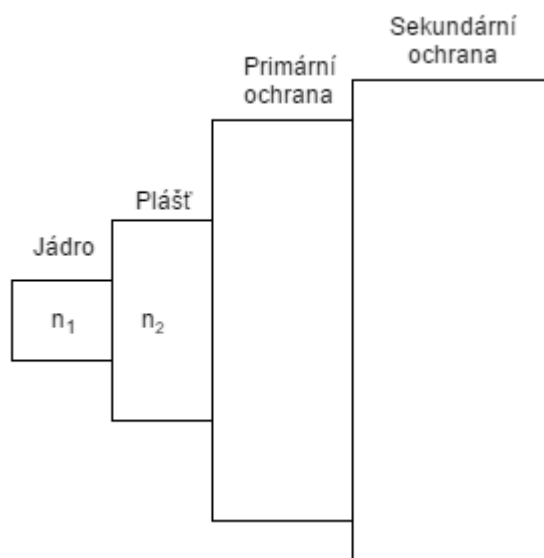
Obrázek 1.1: *Princip totálního odrazu*

Numerická apertura nám definuje největší možný úhel, pod kterým může světelný paprsek vstupovat do optického vlnovodu. Index lomu jádra označujeme n_1 a index lomu pláště n_2 .

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.1)$$

1.2 Složení optického vlákna

Vlákno se skládá z jádra, pláště a dále je chráněno primární a sekundární ochranou. Jádro a plášť tvoří kompaktní celek, obě tyto vrstvy jsou vzájemně neoddělitelné. Primární ochrana je tvořena dvouvrstvým akrylovým lakem. První vrstva (vnitřní) chrání vlákno před mikroohyby a druhá vrstva chrání vlákno před mechanickými, teplotními i chemickými vlivy a zaručuje vysokou stabilitu a dlouhou životnost optického vlákna. Tato vnitřní ochrana se na vlákno nanáší již při výrobě a v některých případech se nanáší včetně barevného kódu. Sekundární ochrana je určena typem kabelu a chrání vlákno před mechanickým poškozením. Dělí se na volnou a těsnou ochranu. Princip volné ochrany je v ukládání jednotlivých vláken do trubek, které bývají naplněné gelem, který zabraňuje šíření vlhkosti. Těsná ochrana je tvořena z polyethylenu, který je nanesen na primární ochranu. Užívá se u vnitřních kabelů a nese barevný kód.



Obrázek 1.2: Složení optického vlákna

1.3 Typy optických vláken

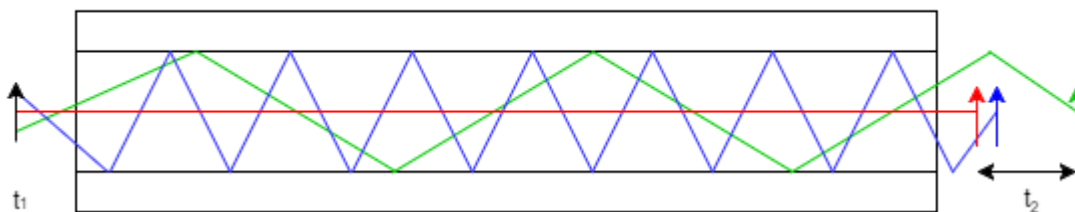
Optická vlákna rozdělujeme na jednovidová a mnohovidová, také označována jako vícevidová i multimodová. Jak už z názvu vláken vyplývá, rozdělují se podle toho, zda do vlákna posíláme jeden nebo více vidů neboli paprsků.

Jednovidová vlákna používáme pro přenos dat na větší vzdálenosti, jako jsou propojení mezi městy nebo státy. Mnohovidová vlákna využíváme k přenosům na krátké vzdálenosti do 2 km, většinou někde uvnitř budov. Přenosové rychlosti se pohybují od 10Mbit/s až 10Gbit/s.

1.3.1 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu

Označováno jako MM SI. Vlákem se šíří více paprsků současně. Přenos jednotlivých vidů probíhá na principu totálního odrazu, všechny vidy mají konstantní rychlost, ale různé dráhy. Jelikož jednotlivé vidy mají rozdílné dráhy, nedochází k doražení všech paprsků na konec vlákna ve stejný

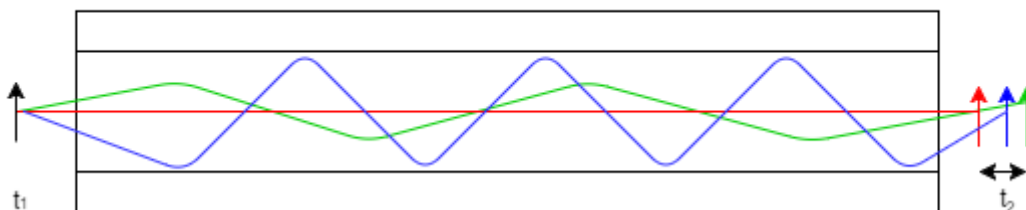
časový okamžik (Obr 1.3). Tento jev se nazývá disperze. V důsledku těchto disperzí se tento typ vláken nepoužívá pro přenos na velké vzdálenosti. Průměr jádra se pohybuje od 50 μm až 2000 μm . [3]



Obrázek 1.3: Přenos vidů v optickém vlákně MM SI

1.3.2 Mnohovidová vlákna s gradientním průběhem profilu indexu lomu

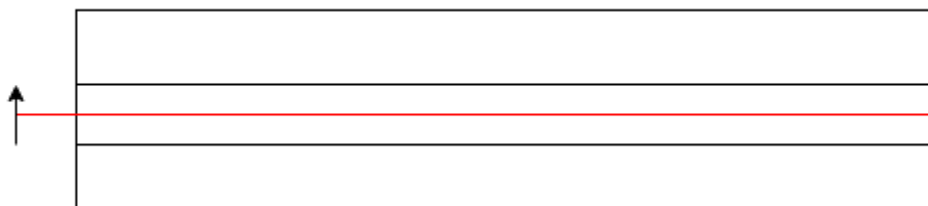
Jednotlivé vidy se šíří na základě ohybu různou rychlostí po různých dráhách. V prostředí s nižším indexem lomu se světelný paprsek šíří rychleji než v prostředí s vyšším indexem lomu. Index lomu se snižuje, čím je dál od středu jádra. Proto paprsky šířící se blíže k plášti, mají vyšší rychlost a celková doba šíření se moc neliší od doby šíření přímého paprsku, který prochází středem jádra, kde je největší index lomu. Tím snižujeme časový rozestup jednotlivých paprsků, které dorazí na konec vlákna (Obr 1.4). Oproti mnohovidovým vláknům se skokovou změnou indexu lomu dochází k snížení disperze, a proto můžeme dosahovat vyšších přenosových rychlostí. [3]



Obrázek 1.4: Přenos vidů v optickém vlákně MM GI

1.3.3 Jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu

Jednovidová vlákna se používají pro přenos dat na velké vzdálenosti. Vedení jednoho vidu bez odrazů je dosaženo velmi malým průměrem jádra, které se pohybuje v řádu jednotek mikrometrů, a také velmi malým poměrem indexu lomu jádra a pláště. Průměr jádra závisí na použité vlnové délce světelného paprsku. Čím větší vlnová délka, tím větší je i průměr jádra. Například pro vlnovou délku 450 nm je průměr jádra 5,5 μm a pro vlnové délky 1300 nm je průměr jádra kolem 9 μm . Malý průměr jádra je složitější na výrobu, a proto jsou jednovidová vlákna nákladnější. [3]



Obrázek 1.5: Přenos vidu v optickém vlákně SM SI

1.4 Útlum optických vláken

Útlum můžeme definovat jako logaritmický podíl vstupního výkonu P_{Vst} na začátku vedení a výstupního výkonu $P_{Výst}$ změřeného na konci vedení. Útlum u křemenných vláken bývá řádově v desetinách decibelu na kilometr, u plastových vláken je mnohonásobně vyšší, a to až stovky dB/km. [4]

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_{Vst}}{P_{Výst}} [dB] \quad (1.2)$$

Útlum optických vláken je vztažen na jednotku délky, nejčastěji na metry nebo kilometry. Takto vztažený útlum se nazývá měrný útlum a značí se malým písmenem a .

$$a = \frac{A}{l} = \frac{1}{l} * 10 \log_{10} \frac{P_{Vst}}{P_{Výst}} [dB/l] \quad (1.3)$$

1.4.1 Disperze

Je jev, který způsobuje zkreslení přenášeného signálu optickým vláknem. Vlivem rozdílného lomu a rychlosti světla v daném prostředí, dochází ke zpoždování impulsů a změně jejich tvaru. Disperze se rozděluje na vidovou a chromatickou. [6]

Vidová disperze

Optický signál je vláknem přenášen pomocí více vidů, které se šíří po různě dlouhých trasách, čímž dojde k jeho rozšíření, protože jednotlivé vidy dorazí na konec vlákna v různých časových okamžicích. Vyskytuje se pouze u mnohovidových vláken.

Chromatická disperze

Její příčinou je různá rychlost šíření optického záření, z důvodu rozdílnosti vlnových délek daného optického prostředí. Jednotlivé zdroje spektra vlnových délek dorazí na konec vlákna v různých časových okamžicích. Chromatická disperze se vyskytuje u jednovidových i mnohovidových vláken. Chromatická disperze se rozděluje na materiálovou a vlnovidovou.

Materiálová – Vzniká při tvorbě optického vlákna a je dána závislostí indexu lomu použitého materiálu na vlnové délce optického záření.

Vlnovidová – Vede vlny a je dána tím, že šíření každého vidu optickým vláknem závisí na geometrických rozměrech vlákna a na profilu indexu lomu.

1.4.2 Absorpce

Je to jev, při kterém dochází ke změně elektromagnetické energie na energii tepelnou. Rozdělujeme je na vlastní a nevlastní (příměsové) absorpce.

Vlastní absorpce – Do této kategorie řadíme absorpce v infračervené oblasti, ultrafialové oblasti a absorpce vlastního materiálu. Absorpce v ultrafialové oblasti je větší než v infračervené oblasti a v dnešní době ji není možné odstranit. [6]

Nevlastní absorpce – Spočívá v pohlcení části optického záření molekulami nečistot, které do vlákna pronikly už při jeho výrobě, popřípadě při špatném provedení vnější ochrany. [4]

1.4.3 Ohybové ztráty

Ztráty způsobené ohybem vlákna, který způsobuje porušení podmínky totálního odrazu světla. Vlivem ohybu dochází ke změně úhlu šíření paprsku. Paprsek je šířen pod větším úhlem a z toho důvodu se láme do pláště. Dále dochází k tzv. fotoelastickému jevu. Při ohybu vlákna dochází na vnější straně ohybu tahové napětí a na straně vnitřní vzniká tlak. Tímto vlivem se mění index lomu v jádře a plášti a tím dochází ke změně mezního úhlu pro šíření světla ve vlákne. Rozlišujeme dva typy ohybových ztrát. [6]

Mikroohyby – Vznikají již při výrobě optického vlákna, nebo působením vnějších vlivů jako je změna teploty, mechanické pnutí apod. Dochází k vyzařování části světla mimo vlákno. Jejich zakřivení je menší než průměr jádra vlákna. [6]

Makroohyby – Vznikají při instalaci optických vláken do optické trasy. Velikost útlumu makroohybů můžeme ovlivnit změnou vlnové délky, a to tak, že snížením použité vlnové délky dochází i k snížení útlumu. [6]

1.4.4 Lineární rozptyl

Lineární rozptyl je způsoben nehomogenitami a nečistotami ve vlákne, které vzniknou už při jeho výrobě. Pokud světelný paprsek ve své trajektorii dopadne na překážku, dojde k vyzařování části energie mimo původní trasu, a tím k poklesu výkonu. Lineární rozptyl se dělí na Rayleighův rozptyl, Mieův rozptyl a rozptyl na nečistotách. [6]

Rayleighův rozptyl – Jedná se o častý jev v optických komunikacích. Vzniká tepelnými kmity krystalické mřížky. Nedá se úplně odstranit, ale je možné jej částečně eliminovat, a to posunem pracovní frekvence do infračervené oblasti. [6]

Mieův rozptyl – Je způsoben mikroskopickými bublinkami ve vlákne, kolísáním průměru vlákna, napětím ve vlákne a nečistotami ve vlákne. Vzniká na nehomogenitách shodných s vlnovou délkou. Je možné jej snížit, a to nanesením ochranných vrstev, pečlivým tažením optického vlákna nebo zvýšením difference indexu lomu rozhraní jádra a pláště. [6]

Rozptyl na nečistotách – Vzniká na nehomogenitách, které jsou větší než vlnová délka. Je možné jej úplně odstranit, a to použitím správné technologie výroby. [6]

1.4.5 Nelineární rozptyl

Nelineární rozptyl způsobuje záření na jiných vlnových délkách, které původně nebyly ze zdroje vyzařeny. To zapříčiňuje snížení výkonu. Nelineární rozptyl rozdělujeme na Brillouinův rozptyl a Ramanův rozptyl.

Brillouinův rozptyl – Vysoká intenzita záření vytváří akustickou podélnou vlnu, která se šíří vláknem a záření se od ní odráží zpět.

Ramanův rozptyl – Jedná se o všesměrový rozptyl. Pokud dojde k překročení práhového výkonu, dochází k změně vlnové délky, a důsledkem toho dochází k snížení výkonu. Část rozptýlené energie se vyváže ven z vlákna.

Oba typy nelineárních rozptylů lze eliminovat rozšířením spektra signálu optického zdroje.

1.5 Přenosová okna optických vláken

Útlum optických vláken je závislý na použité vlnové délce. Na nižších vlnových délkách je ovlivněn Rayleighovým rozptylem a na vyšších vlnových délkách infračervenou absorpcí. Absolutní minimum leží v oblasti kolem 1550 nm, kde měrný útlum dosahuje přibližně pouhých 0,2 dB/km. Závislost útlumu můžeme rozdělit do několika oken, která jsou níže znázorněna na obrázku 1.6.

Rozdělení oken podle vlnové délky:

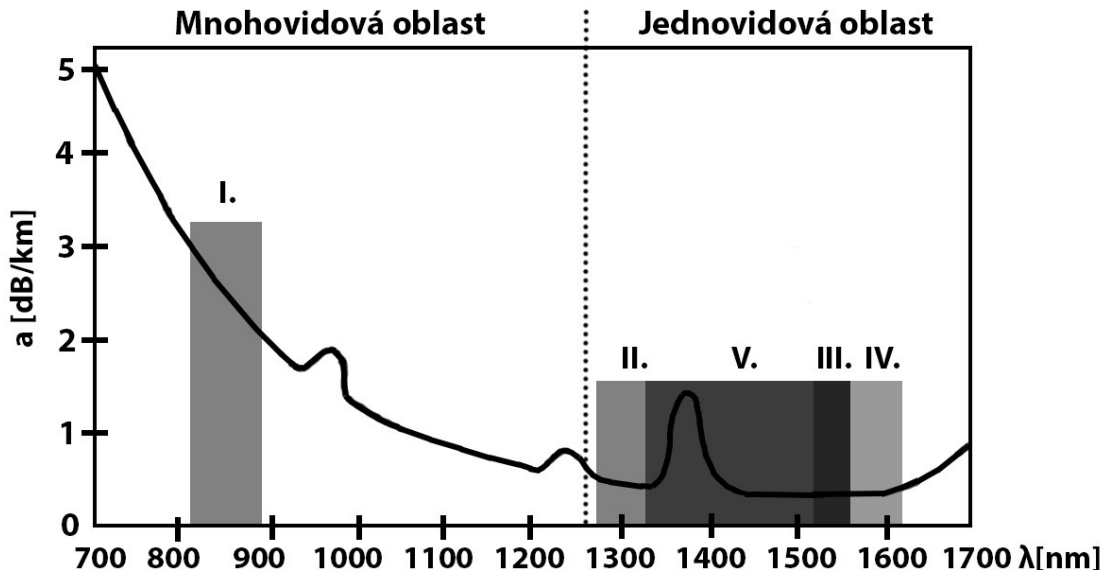
I. Okno (850nm) – Toto okno se využívá u mnohovidových vláken. Hodnoty měrného útlumu jsou zde vysoké, proto není využitelné pro dálkové přenosy. Nachází se zde levné zdroje záření, a proto se přenos využívá v přístupových sítích.

II. Okno (1280-1335) – Využívá se pro jednovidový přenos a dálkové přenosy (60 km). Měrný útlum se pohybuje kolem 0,35 dB/km.

III. Okno (1530-1565) – Zde se nachází minimum měrného útlumu u křemenných vláken, kde se jeho hodnota pohybuje okolo 0,2 dB/km.

IV. Okno (1565-1610) – Okno se nachází za minimem měrného útlumu, ale jsou zde podobné hodnoty měrného útlumu jako v III. okně. Využívá se ve spojení s III. oknem na dálkových přenosech ve WDM.

V. Okno (1335-1530) – Dostupné až od konce 90.let, kdy byly zvládnuty výrobní procesy optických vláken. Spojení II. až V. okna tvoří souvislý přenosový kanál o šířce pásma 50 THz. [5]



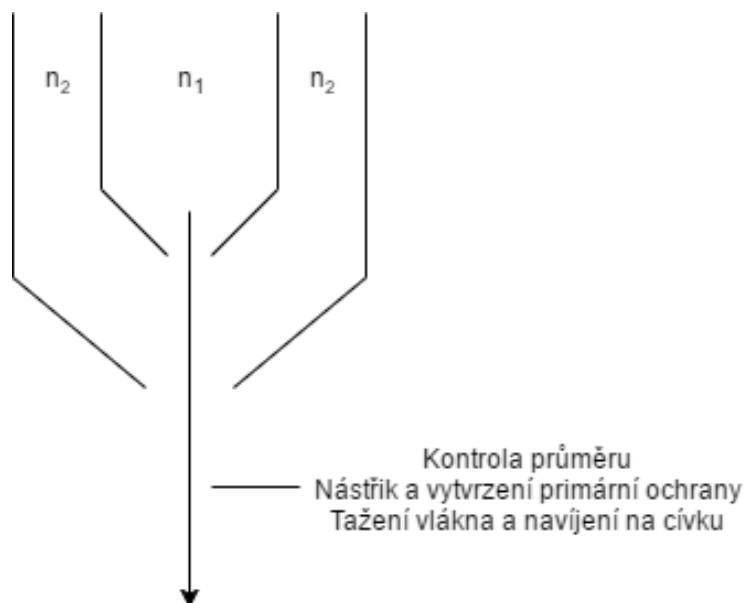
Obrázek 1.6: Útlumová charakteristika

1.6 Výroba optických vláken

Výroba optických vláken je technologicky velmi náročná a z toho důvodu i nákladná. Aby byla optická vlákna použitelná na velké vzdálenosti, musíme vyrobit taková vlákna, jenž budou mít útlum co nejmenší. Při výrobě musí být zamezen kontakt s nečistotami. Jakékoliv nehomogenity ve vlákne znamenají odrazy a ztráty. Aby nedocházelo k náhodným změnám, je vlákno po celou dobu výrobního procesu monitorováno. Pro výrobu optických vláken se používají dvě základní metody a obě mají dvě shodné fáze výroby.

Dvoukelímková metoda

Prioritně se používá pro výrobu vláken se skokovou změnou indexu lomu, kdy se vyrábí dvě preformy s rozdílnými indexy lomu a každá se taví při cca 2000 °C ve svém kelímku, přičemž obě nádoby mají společné vyústění.

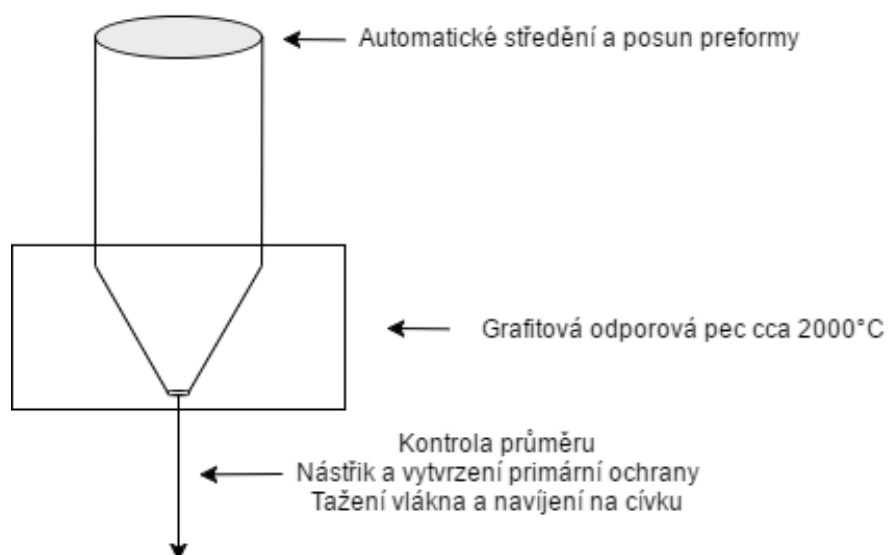


Obrázek 1.7: Dvoukelímková metoda

Metoda tažení z preformy

Tato metoda se prioritně používá pro výrobu vláken se složitějšími průběhy profilu indexu lomu. Velmi náročná je příprava preformy. Jedná se technologický proces nazývaný depozice z plynné fáze. Preforma je skleněná tyč dlouhá 60-100 cm s maximálním průměrem 1 cm, která se následně taví ve speciální odporové peci a vytahuje se z ní vlákno s totožným průběhem profilu indexu lomu. Tažení vlákna z připravené preformy je velmi obtížný proces. Výroba probíhá v několikapatrových budovách. Ve vrchních patrech je umístěn stroj pro zachycení preform. Začátek skleněné preformy se zahřeje těsně pod teplotu 2000 °C, při které má vlákno nejlepší viskozitu pro tažení. Nejsložitější je řízení tažení vlákna tak, aby vlákno mělo konstantní parametry po celé své délce. Zahřátím vznikne kapka, která je svou vlastní vahou tažena směrem dolů. Chlazení vlákna musí probíhat bez jakéhokoliv ohybu. Během tažení je kontrolován průměr vlákna pomocí laserového optického měřiče, podle kterého se ovlivňuje

rychlost tažení. Na vlákno se dále nanáší ochranný lak, který se vytvrzuje pomocí UV záření. V některých případech dochází k nanášení i více vrstev. Nakonec vlákno prochází soustavou kladek, po které pokračuje až na navíjení na cívku. Schéma tohoto výrobního procesu je znázorněno na obrázku 1.8. [4]



Obrázek 1.8: *Metoda tažení z preformy*

2 Polymerová optická vlákna – POF

Polymerová optická vlákna, taktéž označována jako plastová optická vlákna, jsou typem optických vláken, která se vyrábí z umělé hmoty.

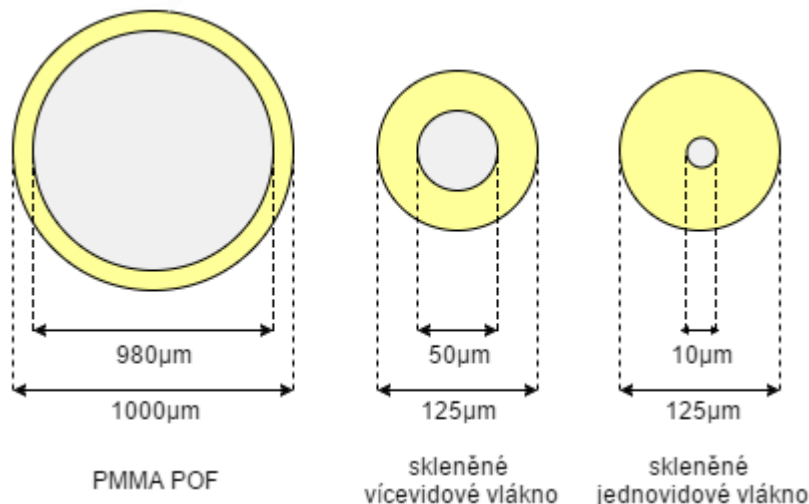
Výroba plastových vláken začala již v 60. letech. Vzhledem k technologii a materiálům použitých v té době, docházelo k výrobě nekvalitních vláken, jež neměla praktické využití z důvodu útlumu dosahujícího až 1000 dB/km. V 70. letech se podařilo útlum POF snížit k hodnotám okolo 125 dB/km, ale ve srovnání se skleněnými vlákny, u kterých byl útlum okolo 1 dB/km, to byla stále vysoká hodnota. Na dlouhé trasy bylo tedy POF nepoužitelné, a pro použití v lokálních sítích již na trhu byly metalické a koaxiální kabely, které byly z pohledu ceny i parametru výhodnější.

Kvůli výhodnosti použití skleněných optických vláken, docházelo ke zpomalení vývoje u POF. Změna nastala až v 90. letech, kdy začínal globální vzestup informačních technologií a celkově k rozšíření internetu. [2]

V posledních letech dochází k vylepšování výrobní technologie, a tak se hodnoty útlumu dokázaly snížit na 10 dB/km.

2.1 Základní vlastnosti

Plastová i skleněná vlákna využívají stejného principu přenosu informací světelného paprsku. Některé typy POF vláken mohou mít mnohonásobně (20-100x) větší průměr jádra ve srovnání se skleněnými vlákny. Díky většímu průměru jádra je možné přenos provádět i přes znečištění nebo poškození konců vláken.



Obrázek 2.1: Porovnání průměrů POF se skleněnými vlákny

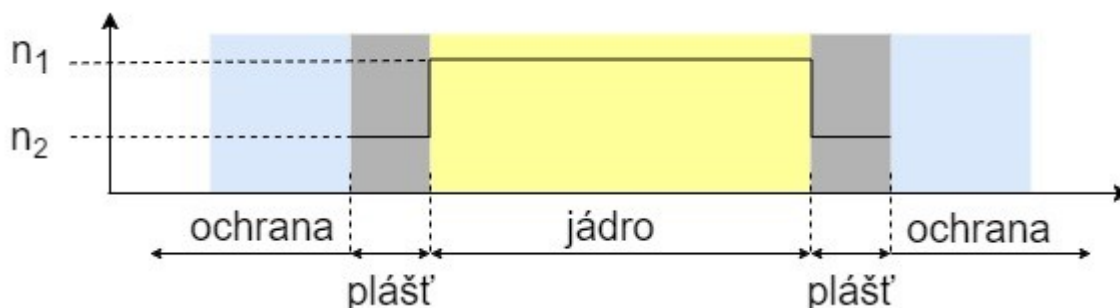
POF se používají na vzdálenosti do 100 m v digitálních domácích spotřebičích, automobilových sítích a v domácích sítích. Oproti skleněným vláknům jsou POF pružnější a jejich instalace je jednodušší a levnější. [4]

2.2 Typy polymerových optických vláken

2.2.1 SI-POF

Polymerové vlákno se skokovou změnou indexu lomu. Jedná se o nejstarší typ polymerových vláken. Vývoj vlákna začal už v 60. letech minulého století. SI-POF jsou nejvíce používaným typem POF, a tak se často označují jako standardní POF.

Jádro má průměr 980 μm a je vytvořeno z polymethylmetakrylátu (dále jako PMMA) s indexem lomu $n_1 = 1,492$. Plášť je tvořen z fluorovaného polymeru o šířce 10 μm s indexem lomu $n_2 = 1,412$. Numerická apertura se pohybuje okolo 0,5 a šířka pásma je mezi 40-50 MHz na 100 metrů. Využívá se v automobilovém průmyslu i v domácích sítích. Měrný útlum se pohybuje okolo 60 dB/km

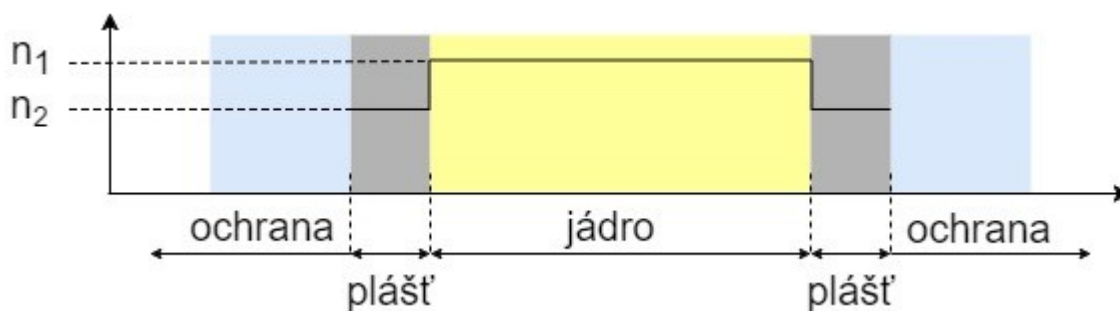


Obrázek 2.2: Profil indexu lomu SI-POF

2.2.2 SI-POF se sníženou numerickou aperturou

Pro přenos dat v síti AM a dosažení rychlostí 155 Mbit/s a vzdálenosti větší než 50 metrů bylo nutné nahradit měděné kabely. Pro tyto potřeby tři nejvýznamnější výrobci vyvinuli vlákno nazvané low-NA POF s nižší numerickou aperturou okolo 0,3 a šířkou pásma 100MHz na vzdálenosti 100 m. První vlákno tohoto typu představila společnost Mitsubishi v roce 1995. Konstrukce vlákna se shoduje se standardními POF vlákny, ale s rozdílem v indexu lomu, který je přibližně o 2 % nižší (Obr 2.3).

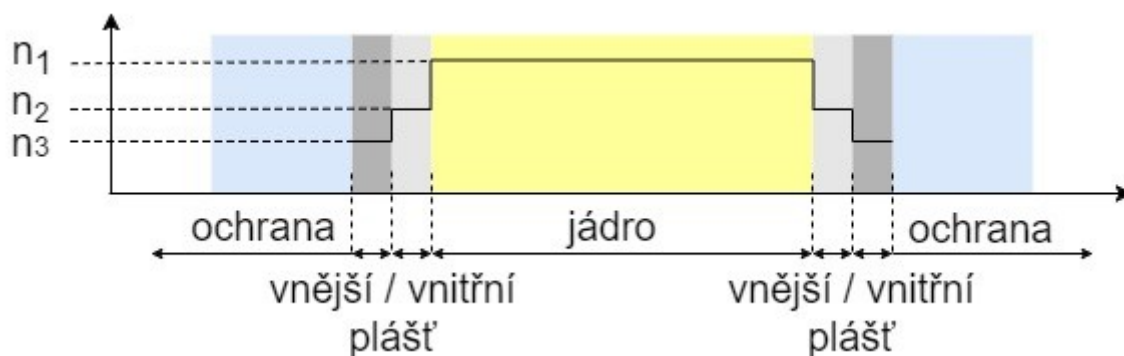
Bohužel, při praktickém používání se ukázalo, že přestože tato vlákna splňují požadavky ATM fóra s ohledem na šířku pásma, nesplňují požadavky na citlivost v ohybu. Tyto požadavky specifikovaly, že pro 50 m úsek s maximálně 10 ohyby o 90° a poloměrem ohybu nejméně 25 mm, by ztráty neměly překračovat 0,5 dB. Pro splnění těchto požadavků bylo nutné najít novou strukturu. [7]



Obrázek 2.3: Profil indexu lomu LOW-NA-POF

2.2.3 DSI-POF

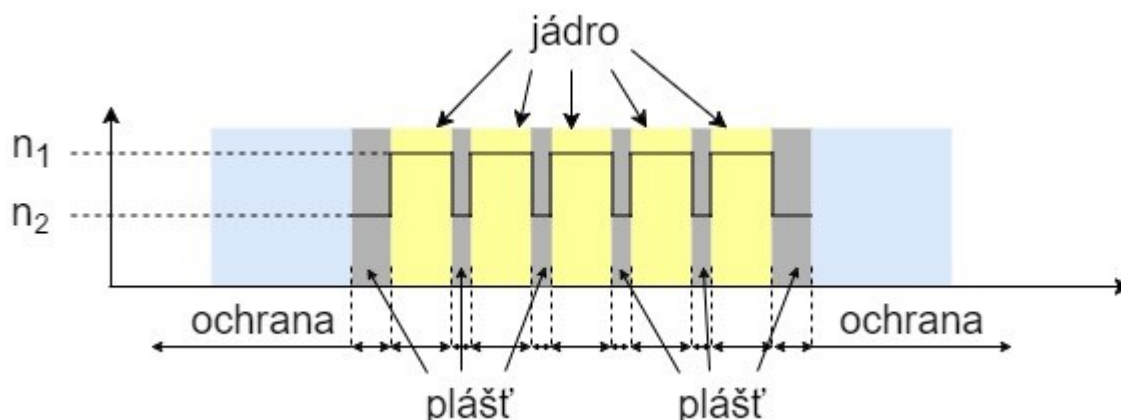
Vlákno s dvojitým skokovým indexem lomu (Double Step Index POF) je tvořeno jádrem a dvěma pláští s klesajícím indexem lomu, kde vnější plášť má nižší index lomu než vnitřní (Obr 2.4). V případě přímých cest je světlo vedeno prostřednictvím totálního odrazu na rozhraní jádra a vnitřního pláště. To vede k numerické apertuře kolem 0,3, tedy k podobným hodnotám NA jako u původních low-NA POF. V případě ohybu vlákna, část světla již není vedena vnitřním rozhraním jádra. Je možné, aby část světelné energie vyzářené z jádra, byla na rozhraní mezi vnitřním a vnějším pláštěm odražena zpátky směrem do jádra. V dalších ohybech může být toto světlo opět nasměrováno do oblasti vnitřního pláště a jádra. Vnitřní plášť má podstatně vyšší útlum než jádro. Světlo šířící se vnitřním pláštěm na dlouhé vzdálenosti je tak zeslabeno, že nedochází k dalšímu šíření impulsu. Na krátkých vedeních se světlo může šířit i vnitřním pláštěm, aniž by docházelo k velké disperzi. První generace DSI-POF sloužila primárně za účelem zvýšení šířky pásma pro 1 mm vlákna ze 40 MHz na 100 MHz pro 100 m. Vzhledem k dostatečné šířce pásma a nízké disperzi na krátkých vzdálenostech, našel tento typ vlákna uplatnění v LAN sítích a domácích sítích. [7]



Obrázek 2.4: Profil indexu lomu DSI-POF

2.2.4 MC-SI POF

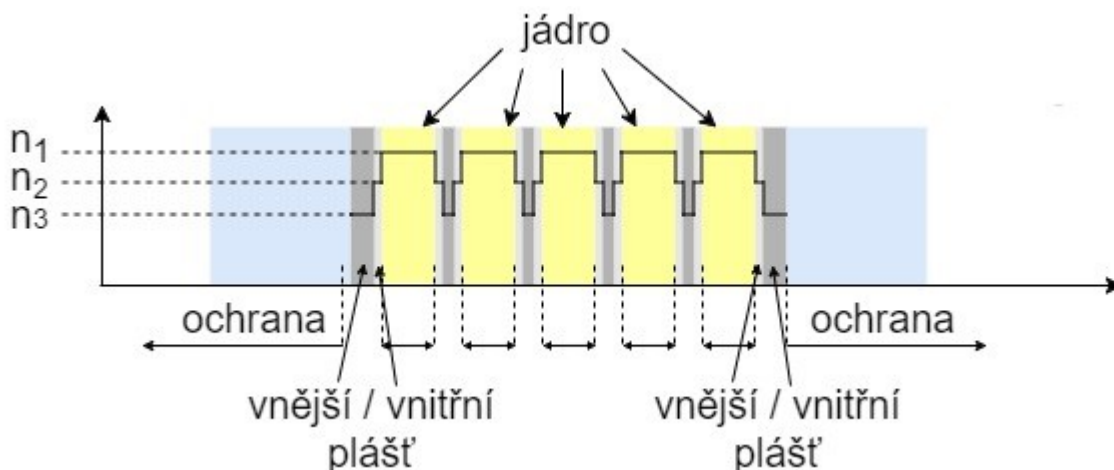
Vlákna MC-POF (Multi Core POF) jsou tvořena desítkami až stovkami jader. Jednotlivá vlákna jsou uspořádána tak, že vyplňují kruhový průřez o 1 mm. Každé jádro má svůj plášť (Obr 2.5). Vlivem použití více jader dochází k dostatečné šířce pásma a snížení citlivosti na mechanické ohyby. Z důvodu zmenšení průměru jádra dochází k složitějšímu navázání světla do vlákna. [7]



Obrázek 2.5: Profil indexu lomu MC-SI-POF

2.2.5 DSI-MC POF

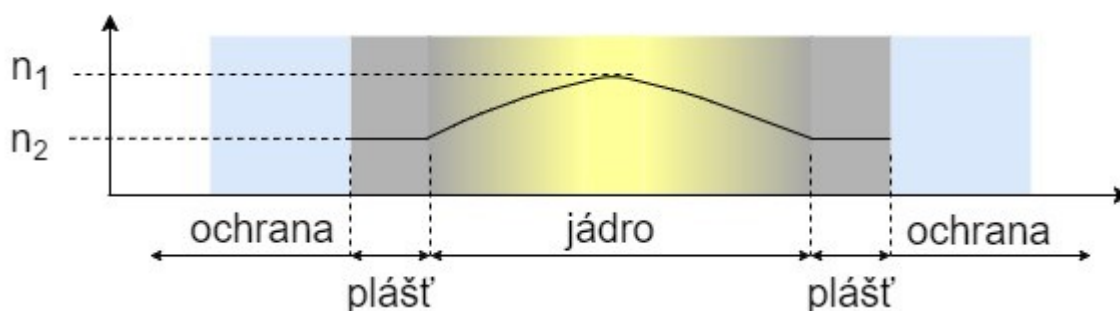
U DSI-MC POF (Double Step Index Multi Core) je větší šířka pásma dosažena zmenšením rozdílu indexu lomu (Obr 2.6). Vzhledem k menším průměrům jádra je možné dosáhnout vyšší citlivosti v ohybu. Princip je stejný jako u DSI POF. Svazek vláken s jedním pláštěm je pokrytý druhým pláštěm. Numerická apertura je okolo 0,19 a šířka pásma se zvýšila na 400 MHz pro 100 m. [7][8]



Obrázek 2.6: Profil indexu lomu DSI-MC-POF

2.2.6 GI-POF

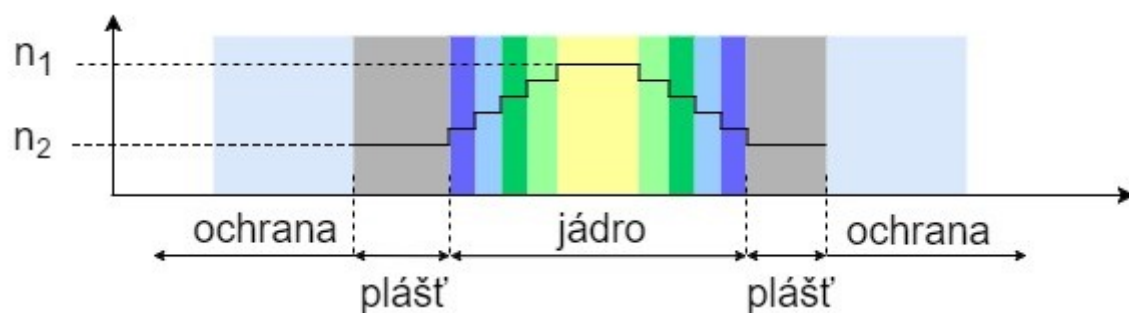
GI-POF (Graded Index POF) jsou vlákna s gradientním profilem indexu lomu. To znamená, že index lomu je nižší, čím dál je od středu osy jádra (Obr 2.7). Paprsek se tedy nešíří pomocí totálního odrazu, ale pomocí ohybu světla. Mezi hlavní výhody GI-POF patří zvýšení šířky pásma a snížení vidové disperze. Numerická apertura se pohybuje kolem 0,2. Přenosová šířka pásma je až 2 GHz na 100 m. [7]



Obrázek 2.7: Profil indexu lomu GI-POF

2.2.7 MSI-POF

Na základě mnoha technologických problémů, které se vyskytly ve výrobě GI-POF s optimálním profilem indexu lomu, bylo potřeba vytvořit vlákno s podobnými vlastnostmi. Toho bylo dosaženo pomocí polymerových vláken s mnohonásobnou skokovou změnou indexu lomu (Obr 2.8). Jádro je složeno z mnoha vrstev (4-7), ve kterých se paprsky světla šíří pomocí vícenásobných odrazů na rozhraní jednotlivých vrstev. První MSI-POF byly představeny v roce 1999 ruským institutem. U MSI-POF je numerická apertura okolo 0,25-0,3 a šířka pásma 500 MHz na 100 m. [8]



Obrázek 2.8: *Profil indexu lomu MSI-POF*

2.3 Materiál polymerových optických vláken

Pro výrobu polymerových vláken se nejčastěji používá polymethylmetakrylát (dále jako PMMA), který je spíše známý jako plexisklo. Pro výrobu pláště vlákna se používají polymery fluoru. PMMA charakterizuje vysoká odolnost vůči vodě, benzínu i hydroxidu sodnému. [7]

3 Polydimethylsiloxan

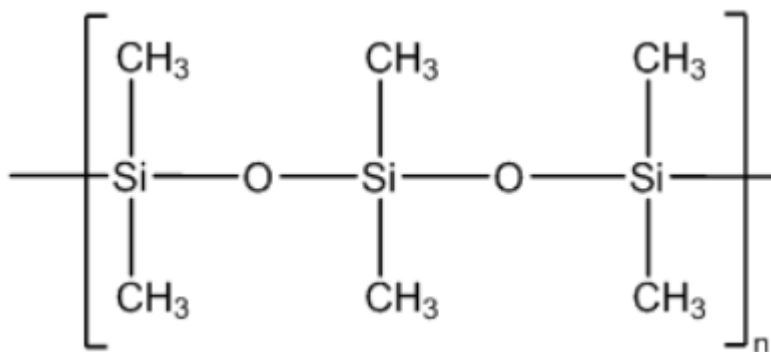
3.1 Úvod

Polydimethylsiloxan (PDMS) je polymerní organokřemičitá sloučenina, která obsahuje v jedné molekule vazbu Si-O, také označovanou jako silikonový kaučuk. Jedná se o nejrozšířenější organický polymer obsahující křemík. Specifickou vlastností silikonových kaučuků je malá závislost na teplotě v širokém rozmezí. Běžně se používají v teplotách v rozmezí -60 °C do 180 °C, krátkodobě odolají až 350 °C. [9] [10]

Polydimethylsiloxan je netoxický, nehořlavý, hydrofobní, dielektrický a opticky čistý. Obsahuje malé množství nečistot, a tak není vhodným prostředím pro bakterie. PDMS nezapáchá a nemá žádnou chuť. Mezi další vlastnosti patří odolnost vůči chemikáliím, UV záření, radiaci a vysokým teplotám. Mezi nevýhody patří nákladná a složitá výroba.

Díky svým vlastnostem našel uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Vlivem tepelné odolnosti se využívá v kabelářském průmyslu k izolaci namáhavých vodičů, anebo pro tepelně namáhané součástky v automobilovém a strojírenském průmyslu. Odolnost vůči vodě se používá ve stavebnictví jako příměs do impregnačních nátěrů nebo do tmelů. Pro svou zdravotní nezávadnost se často využívá v lékařství pro výrobu kontaktních čoček nebo implantátů. Objevuje se i v kosmetice v šamponech nebo v potravinářství, kde se používá k výrobě dimethylsilikonového oleje E900, který zabraňuje vytváření pěny. Hojně se využívá i v elektronice, kde našel své využití jako zapouzdřovací materiál čipů, elektronických součástek nebo solárních panelů. [10] [11]

Pro výrobu PDMS se primárně používá technický křemík a kombinace metanolu s kyselinou chlorovodíkovou, která vytváří chlormetan. Celý proces výroby prochází postupně syntézou, rektifikací, hydrolýzou a kondenzací. Výsledné chemické složení PDMS je znázorněno na obrázku 3.1. [12]



Obrázek 3.1: Chemické složení polydimethylsiloxanu

3.2 Sylgard

Sylgard je zalévací a zapouzdřovací elastomer na bázi PDMS. Dodává se jako dvousložkový gel, u kterého je nutné použít vytvrzovací činidlo, bez kterého nedojde k vytvrzení. Některé typy Sylgardu vytvrdnou i při pokojové teplotě, u jiných musí dojít ke zvýšení teploty. Zvýšením teploty dochází k urychlení tvrdnutí.

3.2.1 Sylgard 182 a 184

Jedná se o dvousložkové čiré kapalné silikony se stejným poměrem gelu a tvrdidla 10:1. Oba silikony mají pracovní teploty od -55 °C až 200 °C. Oba typy mají dobrou odolnost vůči ohni i radiaci, taktéž se vyznačují vysokou pevností v tahu. Největší rozdíl mezi Sylgardem 182 a 184 je v procesu vytvrzování. Sylgard 184 vytvrdne při pokojové teplotě (25 °C), Sylgard 182 začíná tvrdnout při teplotě 65°C. Zvýšením teploty urychlujeme proces tvrdnutí, ale pouze do maximální teploty 150°C. Jsou stabilní v širokém rozsahu teplot, frekvencí a vlhkost. Poskytují pružnou mechanickou ochranu pro konektory, vinutí, transformátory, zesilovače a relé. Dále si našel uplatnění v optoelektronice, kde se používá jako zapouzdřovací materiál pro solární články. [13] [14]

3.3 Dow Corning

Největší společnost vyrábějící silikonové materiály na světě. Vyrábí přes 7000 produktů zahrnujících tmely, lepidla, kaučuky a silikonové oleje. Jednou ze známějších značek této firmy je Sylgard.

3.3.1 3-4170

Dvousložkový čirý silikonový gel s poměrem míchání 1:1. Je velmi řídký, takže se snadno dostane do nepřístupných míst. Po vytvrdnutí nedrží tvar a je extrémně lepkavý. Oproti ostatním PDMS velmi rychle tvrdne za zvýšené teploty. Při teplotě 100 °C vytvrdne za 9 minut, při 125 °C za 5 minut a při 150 °C za 3 minuty. Používá se pro zapouzdřování elektroniky. [15]

3.3.2 SE 1740

Dvousložkový čirý zapouzdřovací materiál s poměrem 1:1. Oproti Sylgardu je mnohem řidší, a proto lépe zatéká do nepřístupných míst. Mezi další výhody patří dlouhá pracovní výdrž při pokojové teplotě, a to až 24 hodin. Pro urychlení tvrdnutí je doporučovaná teplota 80 °C po dobu 30 minut. Používá se v optoelektronice, a to například pro zapouzdřování LED modulů nebo solárních článků. [16]

3.4 Momentive RTV 615

Dvousložkový čirý silikonový kaučuk s poměrem míchání silikonu a tvrdidla 10:1. Je možné jej používat jak při ručním dávkování, tak i v automatických dávkovacích systémech. Používá se pro zapouzdřování elektronických konstrukcí, LED pásů, solárních panelů, popřípadě pro výrobu modelů nebo forem na čokoládu. Vytvrdne i při pokojové teplotě, a to přibližně za 24 hodin. Doba tvrzení se výrazně urychlí zvýšením teploty. Při 100 °C se vytvrdí za 4 hodiny, při 125 °C za 1 hodinu a při 150 °C za 15 minut. [17]

3.5 Porovnání vlastností použitých PDMS

V tabulce níže jsou sepsány vlastnosti dvou PDMS, které jsou z dostupných typů nejvhodnější pro výrobu optických vlnodů. Jedná se o Sylgard 184 a Momentive RTV 615.

Tabulka 3.1: *Vlastnosti vhodných PDMS*

Základní vlastnosti	Sylgard 184	RTV 615
Směšovací poměr (hmotnostně)	10:1	10:1
Viskozita [mPas]	3500	4000
Doba použitelnosti při pokojové teplotě	2 hod	4 hod
Barva	čirá	čirá
Mechanické vlastnosti		
Tvrdost [Shore A]	43	44
Pevnost v tahu [MPa]	6,2	6,5
Prodloužení [%]	100	120
Tepelná vodivost [W/m*K]	0,146	0,2
Index lomu	1,3997-1,4225	1,406
Doba tvrdnutí		
25 °C	>48 hod	24 hod
100 °C	35 min	240 min
125 °C	20 min	60 min
150 °C	10 min	15 min

Tyto dva PDMS mají hodně podobných vlastností. Největší rozdíl je v době tvrdnutí. V případě, že je potřeba zapouzdřit materiál, který neumožňuje dosahování vysokých teplot jako je například zapouzdřování solárních článků, je vhodnější použít RTV 615.

Tvrdost Shore se měří pomocí durometru. Tato stupnice se používá u PVC, polyesterů, měkkých gum apod. Stupnice se pohybuje od 0–10, kde číslem 0 označujeme měkké materiály a číslem 100 materiály tvrdé. [11]

4 Praktická část

4.1 Úvod

Tato kapitola popisuje praktickou část této bakalářské práce. Podle zadání bylo potřeba optické vlnovody z různých typů polydimethylsiloxanu nejdříve vytvořit a následně proměřit. Celá praktická část byla rozdělena do 3 částí:

1. Příprava směsí a následná výroba vlnovodů
2. Měření útlumu na jednotlivých vlnovodech
3. Měření indexu lomu na prvcích vyrobených z polydimethylsiloxanu

4.2 Příprava směsí

Z dostupných typů polydimethylsiloxanu byly vybrány Sylgard 184, Sylgard 182, Momentive RTV 615, Dow Corning 3-4170 a Dow Corning SE 1740. Pro každý polydimethylsiloxan bylo potřeba z dokumentací zjistit poměry míchání gelu s tvrdidlem a následnou dobu tvrzení. Jednotlivé poměry směsí a doby tvrdnutí vybraných materiálů jsou zmíněny v tabulce níže.

Tabulka 4.1: *Směšovací poměry a doby tvrdnutí použitých PDMS*

	Sylgard 182	Sylgard 184	3-4170	SE 1740	RTV 615
Směšovací poměr (hmotnostně)	10:1	10:1	1: 1	1:1	10:1
Doba tvrdnutí					
25 °C	Netvrdne	>48 hod	Netvrdne	>24 hod	>24 hod
80 °C				30 min	
100 °C	75 min	35 min	9 min		240 min
125 °C	30 min	20 min	5 min		60 min
150 °C	20 min	10 min	3 min		15 min

Tyto silikony na bázi polydimethylsiloxanu nevytvrdnou samostatně bez přidání tvrdidla. Až po přidání určitého množství tvrdidla začíná materiál pracovat. Z toho důvodu pro nabírání gelu a tvrdidla byla vždy použita nová injekční stříkačka, popřípadě nová pipeta, aby nedošlo k mylnému smíchání materiálů, a tím znehodnocení celého PDMS. Příprava směsí od každého typu PDMS, až na různé poměry, probíhala totožně.

S pomocí váhy byl odměřen doporučený poměr tvrdidla a gelu, který byl dávkován pomocí injekčních stříkaček a pipet. Následně bylo potřeba směs pořádně promíchat. Po dostatečném zamíchání byla směs plná bublin, což by způsobovalo výrobu nekvalitních vlnovodů, a bubliny by ve vlnovodu zvyšovaly útlum. Z toho důvodu byla zamíchaná směs vložena do ledničky, kde díky nižší teplotě dochází k rychlejšímu odstranění bublin. Jelikož Sylgard 184, 182 a RTV 615 byly hustější směsi, musely být v lednici ponechány déle, většinou na 12 hodin. Směsi 3-4170 a SE 1740 byly použitelné už po 6 hodinách. Na obrázku 4.1 je vyfocený rozdíl směsí ihned po zamíchání a odstátí v lednici.



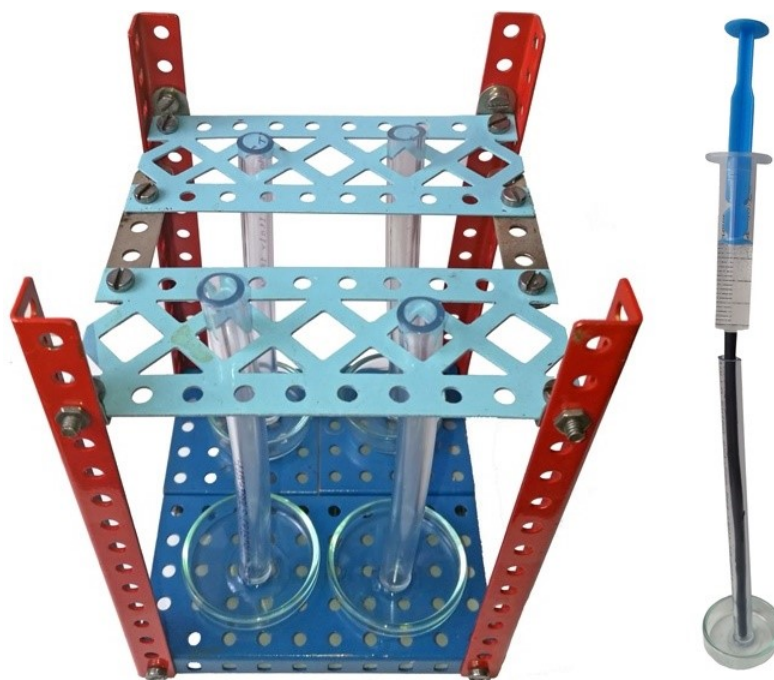
Obrázek 4.1: *Vlevo odstátá směs po 12 h, vpravo čerstvě namíchaná směs*

4.3 Výroba optických vlnodů

Poněvadž účelem bylo vytvořit válcové struktury podobné optickým vláknům, jako forma pro nalévání a tvrdnutí PDMS byla zvolena silikonová hadice s vnitřním průměrem 6 mm. Výsledné vlnodů měly délku 10 cm, a proto byla hadice nařezána na kusy o přibližné délce 11-12 cm. Rezerva byla zvolena z důvodu snadnějšího vytahování PDMS z hadic a také aby mohly být výsledné válcové struktury zarovnané. Jelikož hadice je v obchodech namotaná na buben, drží i po nařezání zahnutý tvar. Z toho důvodu bylo potřeba tyto hadice co nejvíce narovnat. Jako první metoda rovnání bylo vyzkoušení zavěšení hadice s upevněným závažím na spodní části. Hadice se narovnala, ale pouze do doby, než bylo závaží sundané. Jako druhý pokus, a to úspěšný, bylo umístění jednotlivých částí hadic do plastové trubice, a následné vložení do trouby, kde byly asi po dobu 10 minut vystaveny teplotě okolo 100 °C. Po vytáhnutí z trouby se nechaly hadice stále v trubicích zchladit. Po vychladnutí už držely rovný tvar. Porovnání zahnutí hadic po provedení této procedury je zobrazeno na obrázku 4.2. Samotná výroba válcových vlnodů probíhala na dvě části. V první části bylo pár kapek odstátého PDMS nakapáno na Petriho misky, na které byly jednotlivé hadice položeny. Tímto způsobem bylo zajištěno uzavření hadice z jedné strany. Aby hadice držely tvar a nepadaly, musely být upevněny. Pro uchycení byla vytvořena sestava ze stavebnice Merkur. Tato sestava i s uchycenými hadicemi po prvním zapečení spodních částí v troubě je zobrazena na obrázku 4.3.



Obrázek 4.2: *Nahoře narovnaná hadice, dole po nařezání*

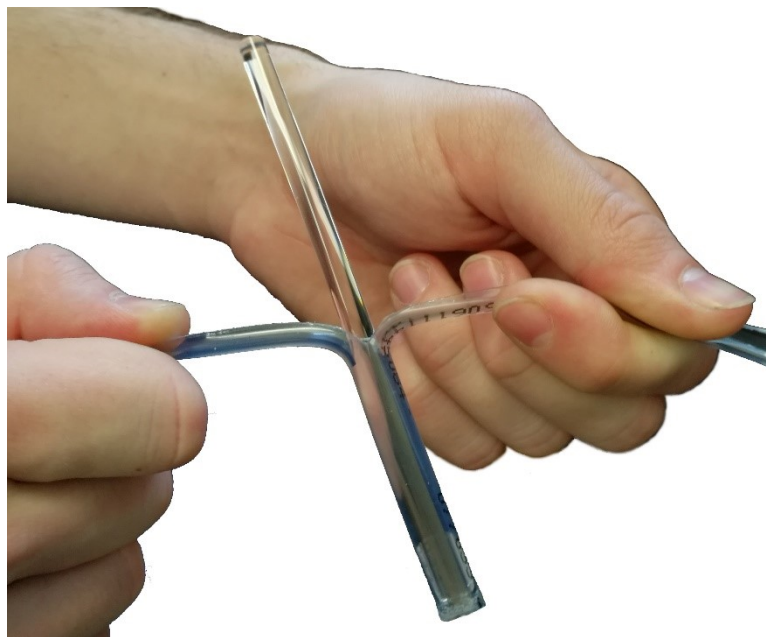


Obrázek 4.3: Sestava pro výrobu válcových vlnovodů včetně plnící inj. stříkačky

Jelikož hadice se při teplotě 100 °C a více začaly deformovat, byla zvolena teplota pro tvrdnutí všech zvolených PDMS 80 °C. U většiny PDMS není uváděna doba tvrdnutí při této nižší teplotě, z toho důvodu bylo nutné dobu zapékání prodloužit. Na druhou stranu pro spodní část hadic bylo použité malé množství PDMS, a tak doba tvrdnutí mohla být zkrácena na hodnotu nižší, než je uváděno v dokumentacích jednotlivých materiálů. Po pár pokusech byl nalezen optimální čas, kdy už byl spodek zapečen, a to na 30 minut při 80 °C. Protože směs Dow Corning 3-4170 a SE 1740 byla řidšího charakteru, a ani po několika hodinovém vytvrdnutí v troubě nebyla schopna uzavřít a udržet hadice, byl pro spodní části těchto PDMS zvolen Sylgard 184, s kterým nebyly žádné problémy.

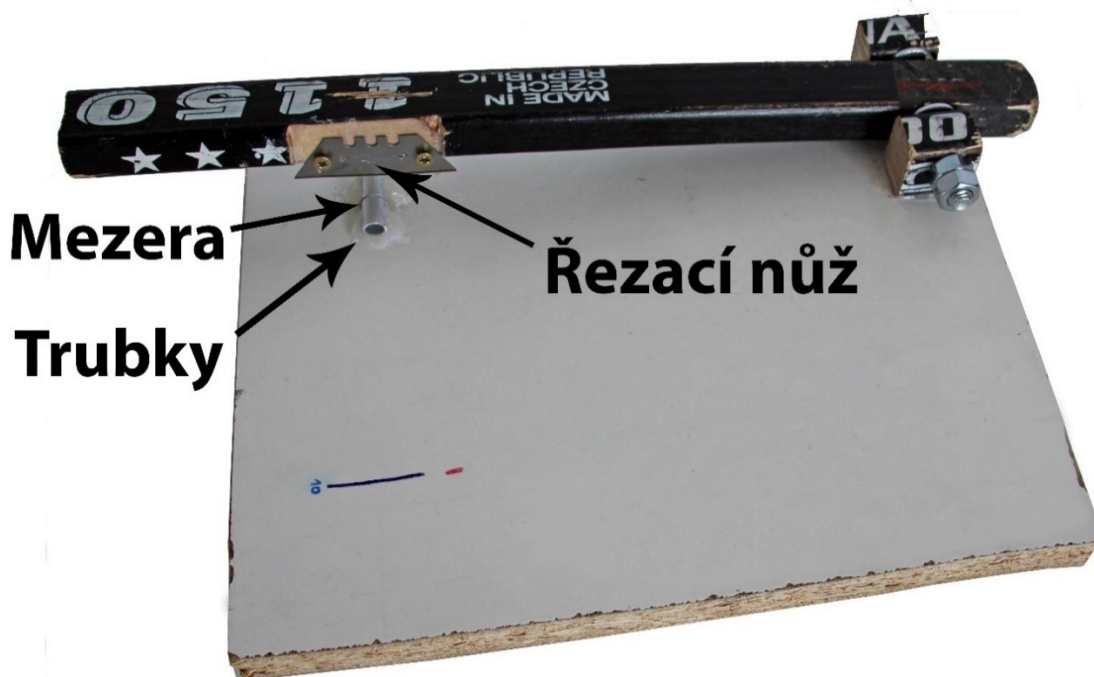
V druhé části se jednotlivé hadice naplnily připravenou a odstátou směsí. Pro plnění byla použita injekční stříkačka. Všechny materiály byly dost husté na to, aby na injekční stříkačce byla i jehla. Proto jako alternativa jehly, byla nasazena teplem smršťovací bužírka, pomocí které se urychlil čas plnění. Bohužel při plnění se v hadicích vytvořily nové bubliny, a proto se musel opakovat proces s odstáním v lednici, kde byly ponechány asi na 12 hodin. Následně byla sestava i s připravenými a naplněnými hadičkami vložena do trouby, kde za zvýšené teploty proběhlo vytvrdnutí.

Po vytažení a vychladnutí zapečených hadic došlo k odloupení spodků od Petriho misek. Ve většině případů docházelo k dokonalému zarovnání, proto později stačilo zaříznout a zarovnat pouze jednu stranu vlnovodu. Pro vytažení PDMS ze silikonové hadice stačilo hadice naříznout. V prvních pokusech se provádělo podélné naříznutí pouze na jedné straně, ale jako vhodnější metoda bylo lepší silikonovou hadici naříznout z obou stran, uchytit oba naříznuté konce a táhnout, jak je vidět na obrázku 4.4. Tloušťka hadice byla 1,5mm, proto aby nedošlo k poškození vytvořené válcové struktury, bylo nutné hadici naříznout pouze 1 mm a méně.



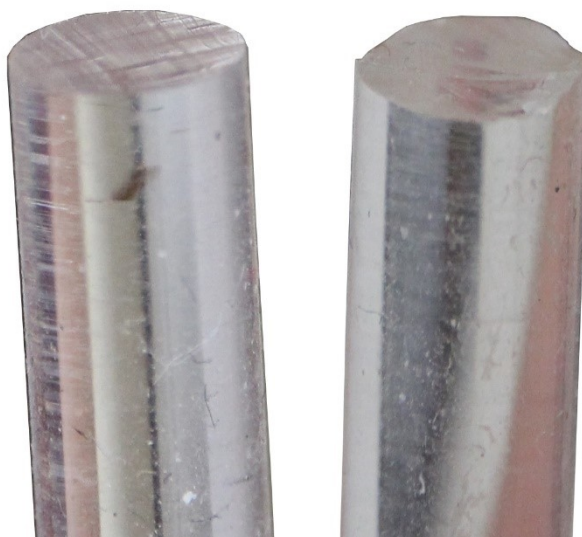
Obrázek 4.4: *Vytahování válcové struktury z hadice*

Následně bylo potřeba válcový vlnovod zarovnat, podle toho, jak se jej povedlo odlepit od Petriho misky, buď na jednom, anebo na obou koncích. V prvních pokusech byl používán lámací nůž, popřípadě keramický nůž, ale z důvodu ohebnosti výsledného válce docházelo při řezu k nerovnostem, které by taktéž negativně ovlivňovaly přenesený výkon. Z toho důvodu bylo nutné vlákno upevnit a řez provést jedním tahem. Pro lepší řezy byla vyrobena řezací soustava (Obr 4.5), jež měla dvě trubky s mezerou přesně na průnik řezacího nože. Trubka měla vnitřní průměr 6 mm, tedy stejně jako průměr vlákna, proto bylo obtížnější prostrčit válcový vlnovod. Tyto trubky zabraňovaly ohybům vlnovodu, a tak bylo dosahováno mnohem lepších řezů.



Obrázek 4.5: *Řezací soustava*

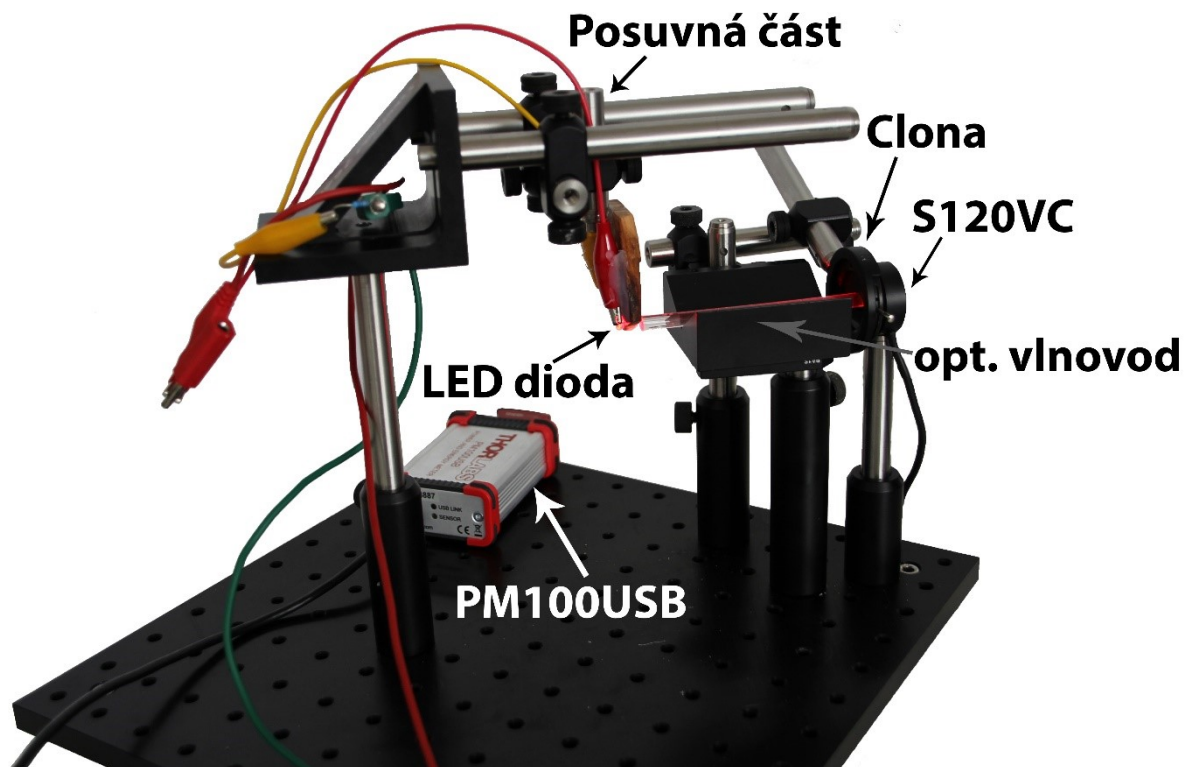
Na obrázku 4.6 je znázorněn rozdíl mezi použitím této řezací soustavy a obyčejného lámacího nože. Díky upevnění celé konstrukce a válce ve stejné pozici bylo dosahováno opakovatelného řezu, který pomocí nože a ruky nemohl být nikdy stejný.



Obrázek 4.6: *Vlevo řez pomocí sestavy, vpravo řez lámacím nožem*

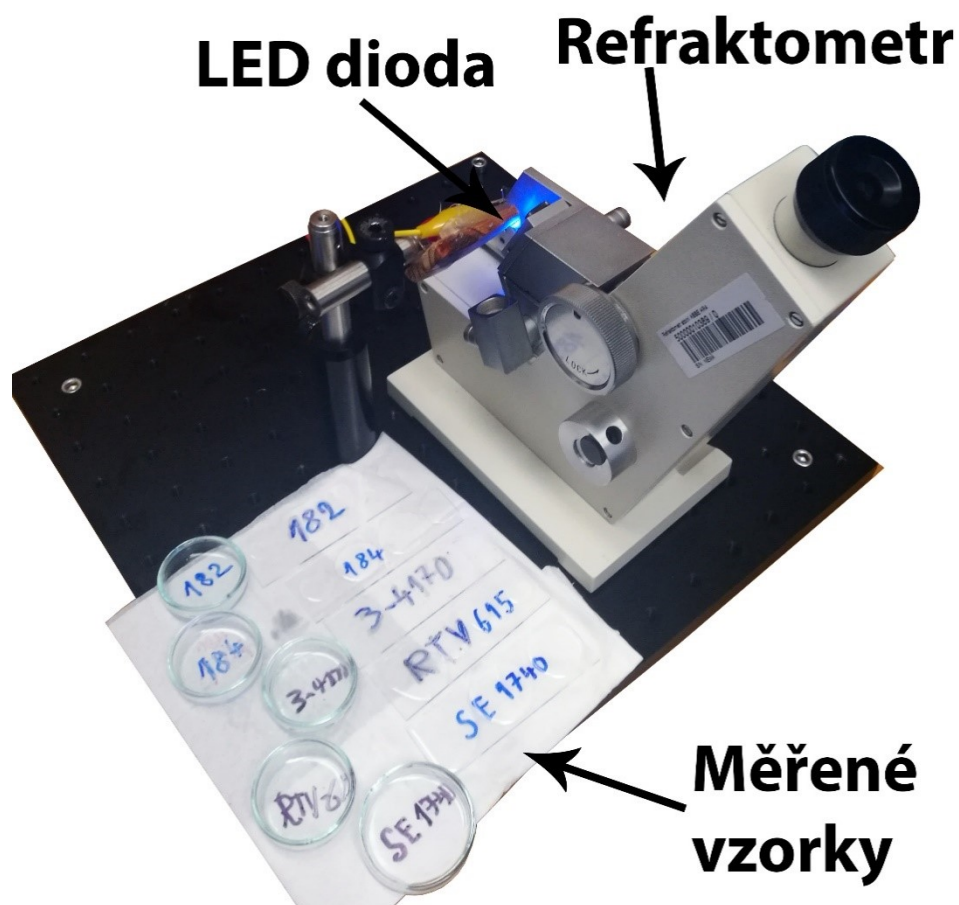
4.4 Příprava pracoviště pro měření

Pro měření útlumu bylo nutné nejdříve vytvořit měřicí sestavu tak, aby bylo možné provádět měření opakovaně za stejných podmínek. K tomu posloužila stavebnice Thorlabs, která je modulární, a tak umožňovala snadné sestavení a případné úpravy. Hlavní části soustavy byl optický fotodetektor Thorlabs S120VC, který byl připojen do powermeteru PM100USB a následně napojen do počítače. Dále se soustava skládala z posuvné části, na které byla přidělaná dřevěná deska, která byla vyřezána do trojúhelníkového tvaru tak, aby přesně zapadla do podstavy, na kterou byly umísťovány jednotlivé optické vlnovody. Do spodní části této desky byla vyvrtána díra o průměru 6 mm, do které byly postupně umísťovány různé LED diody. Celá tato část byla zkalibrována tak, aby světlo z LED diody navazovalo na střed optických vlnovodů. Před fotodetektor byla umístěna rozevírací clona, která zabráňovala snímání světelného záření, které neprocházelo optickým vlnovodem. Sestava je zobrazena na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: Měřicí soustava Thorlabs pro měření útlumu

Pro měření indexu lomu došlo k ponechání pouze podložky celé sestavy a dřevěného držáku pro LED diody. Na takto upravenou sestavu byl umístěn refraktometr (obr 4.8). V Petriho miskách jsou umístěné tekuté PDMS a napravo od nich je umístěna část vytvrdnutých prvků, na kterých následně probíhalo měření indexu lomu.



Obrázek 4.8: Měřicí soustava pro měření indexu lomu

4.5 Elektronické prvky

Kromě prvků zmíněných výše jako je fotodetektor S120VC a powermeter PM100USB od firmy Thorlabs, bylo potřeba zdroj světelného záření napájet a regulovat. K napájení LED diod byl použit zdroj Statron Labornetzgerät 2229. Pro regulaci napětí a proudu byl používán digitální multimetr Range DT8300.

Jako zdroj světelného záření bylo vybráno 5 LED diod různých barev, které byly zakoupeny v prodejně GME. Každá LED dioda vyzařovala světlo o jiné vlnové délce, a to od 470 do 624nm. Před diodu byl zapojen předřadný odpor o velikosti 130 Ω . V tabulce 4.2 jsou z dokumentací prodejce uvedené základní parametry těchto použitých LED diod. Protože bílá LED dioda je širokopásmová, neuvádí se u ní vlnová délka.

Tabulka 4.2: Základní parametry LED diod

Barva LED	Vlnová délka[nm]	Napětí [V]	Max. proud [mA]	Svítivost [mcd]
Modrá	470	3,3	30	4500
Zelená	530	3,2	30	7000
Žlutá	590	2,1	30	1500
Červená	694	2	25	5000
Bílá		3,2	25	20000

4.5.1 Parametry použitých přístrojů

Fotodetektor Thorlabs S120VC

- Rozsah vlnových délek 200–1100 nm
- Výkonový rozsah 50nW-50mW
- Odchylka měření $\pm 3 \%$ (440–980 nm)

Powermeter Thorlabs PM100USB

- Rozsah vlnových délek 185 nm-25 μm
- Výkonový rozsah 100 pW-200 W
- Šířka pásma 100 kHz

Statron Labornetzgerät 2229

- Výstupní napětí 0-40 V
- Výstupní proud 0-2,5 A

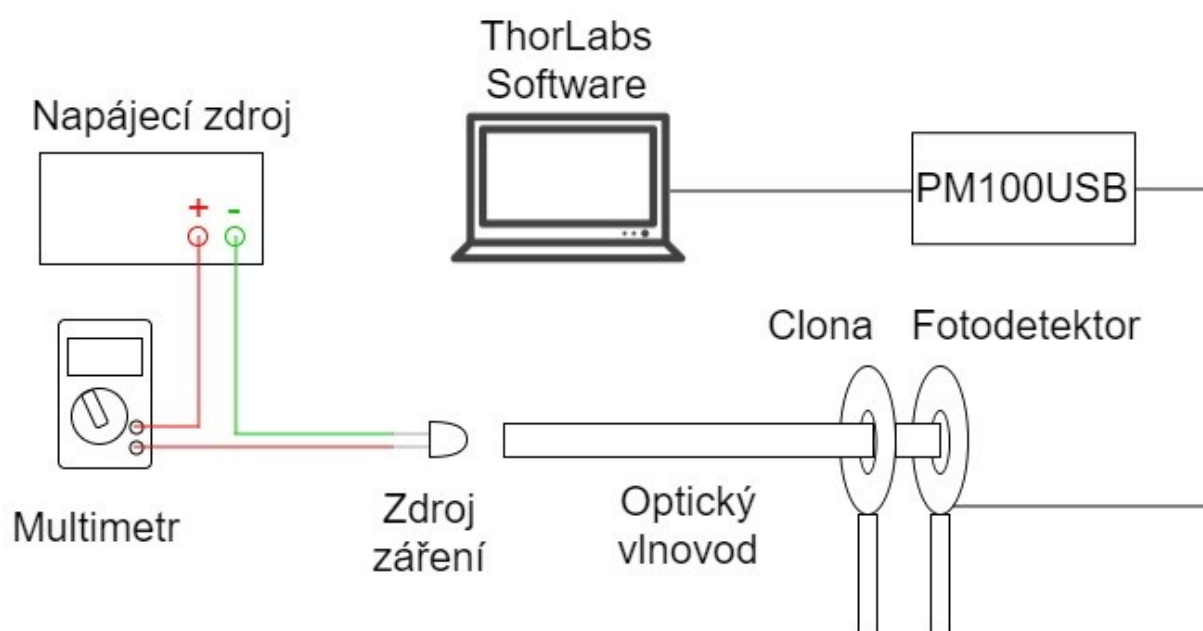
Multimetr DT-830D

- Přesnost DC napětí $\pm 0,25 \%$
- Přesnost DC proud $\pm 0,8 \%$

Refraktometr ABBE AR 4

- Rozsah indexu lomu 1,3-1,7
- Dělení stupnice 0,0005
- Přesnost $\pm 0,0002$

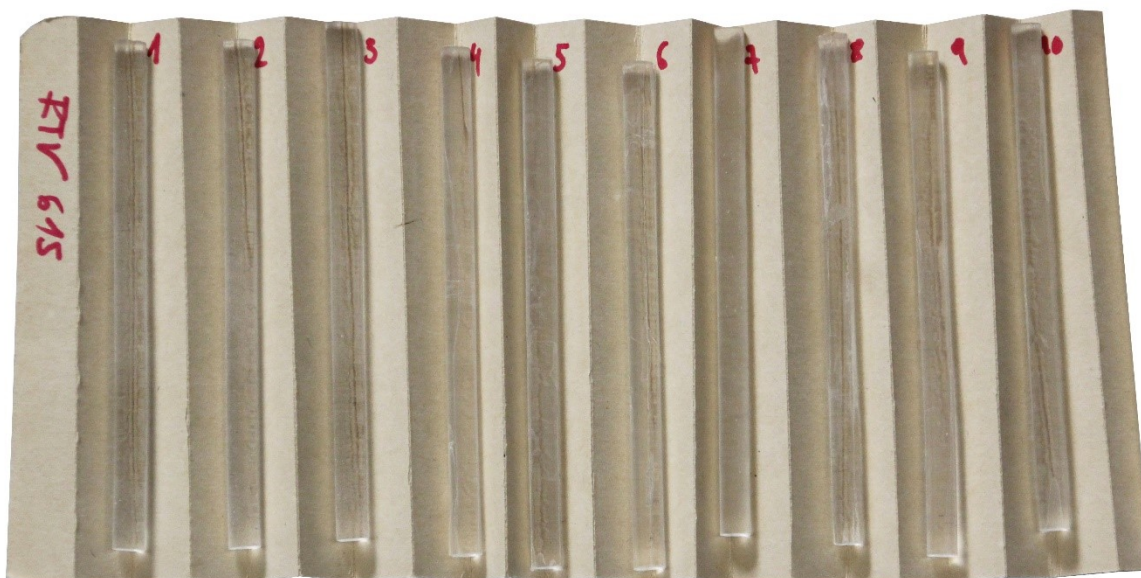
4.5.2 Blokové schéma zapojení



Obrázek 4.9: *Blokové schéma zapojení*

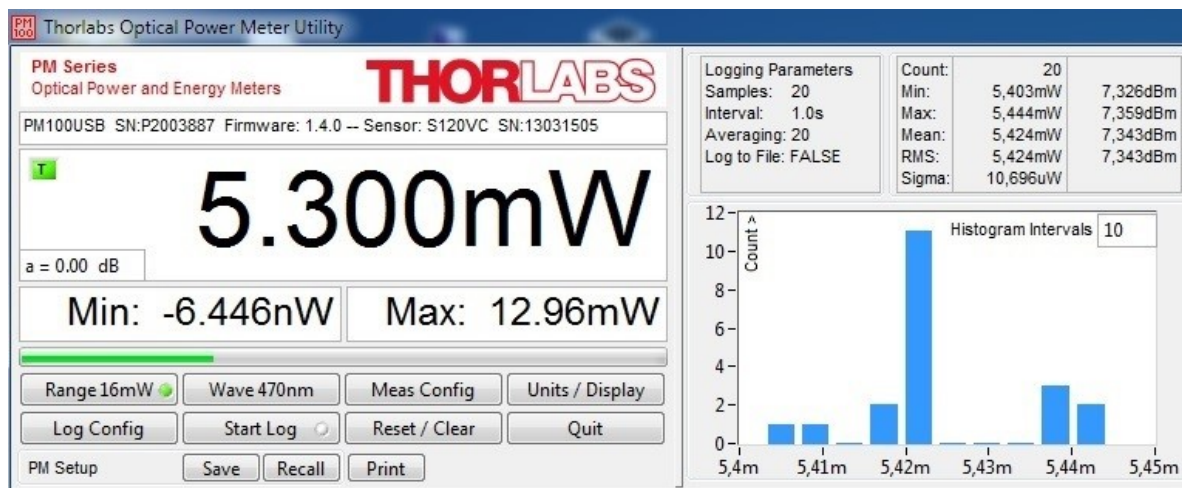
4.6 Měření útlumu

Z důvodu zajištění opakovatelnosti měření, musel být každý vlnovod očíslován. Protože nebylo vhodné jednotlivé vlnovody popisovat, byly umístěny do připravených papírových pořadníků. Jeden z těchto pořadníků, konkrétně pro vlnovody z RTV 615, je zobrazen na obrázku 4.10



Obrázek 4.10: Očíslování jednotlivých vlnovodů

Aby byla splněna přesnost měření, na každém vyrobeném optickém vlnovodu byla provedena série 10 měření pro každou LED diodu. Hodnota výkonu byla zobrazována v softwaru od firmy Thorlabs (Obr 4.11). Po vložení vlnovodu do podstavy se v softwaru spustilo měření, při kterém proběhlo 20 náměrů s rozestupem 1 sekundy a těchto 20 hodnot se zprůměrovalo do výsledné jedné hodnoty, která byla zapsána. Před každou sérií byl zdroj záření přisunut k fotodetektoru, čímž byl změřen vstupní výkon. Následně byla dioda posunuta na délku optických vlnovodů 10 cm tak, aby se dioda jednotlivých vlnovodů nedotýkala. Po provedení změření série, při které byl změřen výstupní výkon optických vlnovodů, byla provedena kalibrace vstupního výkonu, a to tak, že LED dioda byla opět přisunuta k fotodetektoru. Po provedení 10 sérií byla vyměněna LED dioda a celý postup se opakoval. Po změření všech 5 LED diod, proběhla výměna optických vlnovodů na jiný typ PDMS a proběhlo opakování celého měření. Z naměřeného vstupního a výstupního výkonu byl pomocí vzorce 1.2 vypočten měrný útlum jednotlivých náměrů.



Obrázek 4.11: Thorlabs software pro měření výkonu

4.6.1 Sylgard 184

Sylgard 184 má doporučenou dobu tvrdnutí 35 minut při 100 °C, ale z důvodu silikonových hadic, které se při této teplotě začaly deformovat, bylo prováděno zapékání při teplotě 80°C. Bylo nutné zvýšit dobu tvrdnutí, ta byla zvolena na 2 hodiny. Tento typ PDMS dosahoval nejlepších hodnot útlumu na vlnové délce 624 nm, kde průměrná hodnota měrného útlumu byla 0,130 dB/cm. Tento PDMS byl po vytvrzení velmi ohebný a držel svůj tvar i po vytáhnutí ze silikonové hadice. Při srovnání s ostatními silikony, které byly použity v této bakalářské práci, měl Sylgard 184 nejmenší útlum na všech použitých vlnových délkách.

Tabulka 4.3: Sylgard 184 – měrný útlum

	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Vzorek č.1	0,291	0,218	0,174	0,131	0,172
Vzorek č.2	0,297	0,233	0,194	0,143	0,203
Vzorek č.3	0,298	0,178	0,166	0,115	0,163
Vzorek č.4	0,293	0,239	0,199	0,136	0,212
Vzorek č.5	0,301	0,217	0,168	0,115	0,183
Vzorek č.6	0,322	0,229	0,190	0,124	0,195
Vzorek č.7	0,310	0,227	0,199	0,125	0,202
Vzorek č.8	0,293	0,215	0,199	0,154	0,192
Vzorek č.9	0,349	0,233	0,201	0,143	0,204
Vzorek č.10	0,339	0,189	0,165	0,117	0,180
Průměrná hodnota	0,309	0,218	0,185	0,130	0,191
Rozptyl	3,858E-04	3,492E-04	2,105E-04	1,640E-04	2,174E-04

4.6.2 Sylgard 182

Přestože Sylgard 184 i 182 mají velmi podobné vlastnosti, byl měrný útlum výrazně odlišný, a dosahoval mnohem horších hodnot. Nejhorší měrný útlum byl dosahován na vlnové délce 450, tedy na modré barvě, a to v průměru 0,732 dB/cm. Nejlepší měrný útlum se nacházel opět na červené barvě, a to 0,353 dB/cm. Po vytvrzení držel tvar, ale byl na povrchu lepkavý, a tak se na něj enormně lepil prach a nečistoty, které zvyšovaly měrný útlum. Při prvním pokusu byla doba tvrdnutí za zvýšené teploty stejná jako u Sylgardu 184, ale z důvodu výše uvedených nedokonalostí materiálu bylo vyzkoušeno zvýšit dobu vytvrzování přibližně o 4 hodiny. Celkově se válcové vlnovody vytvrzovaly 6 hodin při teplotě 80 °C, bohužel ani to nepomohlo odstranit problém s lepkavostí materiálu.

Tabulka 4.4: *Sylgard 182 – měrný útlum*

	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Vzorek č.1	0,739	0,637	0,544	0,342	0,429
Vzorek č.2	0,766	0,641	0,559	0,330	0,459
Vzorek č.3	0,710	0,642	0,612	0,403	0,486
Vzorek č.4	0,703	0,656	0,609	0,405	0,513
Vzorek č.5	0,766	0,661	0,562	0,345	0,447
Vzorek č.6	0,701	0,593	0,512	0,296	0,411
Vzorek č.7	0,701	0,639	0,615	0,410	0,501
Vzorek č.8	0,721	0,606	0,525	0,315	0,421
Vzorek č.9	0,774	0,653	0,558	0,342	0,452
Vzorek č.10	0,742	0,631	0,551	0,343	0,458
Průměrná hodnota	0,732	0,636	0,565	0,353	0,458
Rozptyl	7,554E-04	4,193E-04	1,180E-03	1,410E-03	1,018E-03

4.6.3 Dow Corning 3-4170

Oproti výše zmíněným PDMS se tento materiál míchá v poměru 1:1. Jednalo se o nejřidší směs, kterou se dobře a rychle plnily jednotlivé hadice. Ze všech použitých PDMS měl tento uvedenou nejkratší dobu vytvrzování, a to pouze 9 minut při teplotě 100 °C. I přesto byla doba vytvrzování zvýšena na 2 hodiny při teplotě 80 °C, tedy stejně jako u Sylgardu 184. Bohužel ani toto zvýšení doby nezvýšilo pevnost materiálu a po zapečení nadržel při vytažení z hadic tvar. Proto muselo být měření prováděno s ponecháním PDMS v silikonových hadicích. Dalším z problémů bylo provést hladký řez. Vlivem nestability materiálu docházelo na každé straně vlnovodu k různým řezům, a to i za použití řezací soustavy. Už od pohledu bylo znatelné, že tento materiál nebude vhodný pro přenos světelných paprsků. To se potvrdilo i při měření, kdy se měrný útlum přiblížil až k 1 dB/cm. Nejlepší měrný útlum s průměrnou hodnotou 0,634 se nalézal na červené LED diodě. V porovnání s ostatními měřeními PDMS, je i toto velmi vysoký měrný útlum, srovnatelný s nejvyššími útlumy jiných materiálu, které byly na modré barvě.

Tabulka 4.5: *Dow Corning 3-4170 - měrný útlum*

	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Vzorek č.1	0,874	0,762	0,743	0,532	0,655
Vzorek č.2	1,015	0,919	0,939	0,701	0,819
Vzorek č.3	0,977	0,886	0,831	0,625	0,753
Vzorek č.4	1,067	0,973	0,966	0,701	0,874
Vzorek č.5	0,945	0,807	0,838	0,607	0,740
Vzorek č.6	1,031	0,904	0,896	0,619	0,747
Vzorek č.7	0,985	0,845	0,863	0,536	0,680
Vzorek č.8	1,049	0,923	0,958	0,680	0,847
Vzorek č.9	0,926	0,793	0,782	0,679	0,658
Vzorek č.10	1,027	0,886	0,903	0,661	0,807
Průměrná hodnota	0,990	0,870	0,872	0,634	0,758
Rozptyl	3,270E-03	3,952E-03	4,991E-03	3,507E-03	5,492E-03

4.6.4 Dow Corning SE 1740

V tekutém stavu se jednalo o řídkou směs podobnou Dow Corning 3-4170. Na rozdíl od 3-4170, tento materiál byl po zapečení tužší, ale z hadic šel vytáhnout pouhým zatlačením. Byl velice mastný a lepkavý. Měrné útlumy se přibližovaly válcovým vlnovodům vyrobeným z 3-4170. Nejvyšší měrné útlumy byly naměřeny na modré barvě, kde jejich průměrná hodnota dosahovala 0,927 dB/cm.

Tabulka 4.6: *Dow Corning SE 1740 - měrný útlum*

	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Vzorek č.1	0,977	0,818	0,938	0,589	0,715
Vzorek č.2	0,985	0,811	0,962	0,603	0,708
Vzorek č.3	0,862	0,729	0,882	0,503	0,632
Vzorek č.4	0,845	0,722	0,870	0,523	0,621
Vzorek č.5	0,916	0,761	0,902	0,557	0,662
Vzorek č.6	0,929	0,751	0,887	0,544	0,653
Vzorek č.7	0,911	0,740	0,865	0,537	0,642
Vzorek č.8	0,961	0,819	0,899	0,583	0,751
Vzorek č.9	0,957	0,810	0,942	0,588	0,729
Vzorek č.10	0,886	1,039	0,879	0,515	0,641
Průměrná hodnota	0,923	0,800	0,903	0,554	0,675
Rozptyl	2,069E-03	7,676E-03	1,003E-03	1,115E-03	1,905E-03

4.6.5 Momentive RTV 615

Jak už bylo zmíněno v kapitole 3.5, RTV 615 je vlastnostmi nejpodobnější k Sylgardu 184. Směšovací poměr tužidla a tvrdidla byl taktéž 10:1. Ihned po smíchání bylo viditelné, že materiál začal pracovat. Po pár hodinovém odstátí v lednici už začal materiál tuhnout. Ostatní materiály byly v případě vložení do lednice použitelné ještě několik dní, ale RTV 615 vytvrdlo i v snížené teplotě, a to za 48 hodin. Doba vytvrzování byla stanovena na 6 hodin při teplotě 80 °C. Nejvhodnější vlnová délka byla 624 nm, při které byl měrný útlum 0,242 dB/cm. Tento materiál se útlumově zařadil hned za Sylgard 184.

Tabulka 4.7: Momentive RTV 615 - měrný útlum

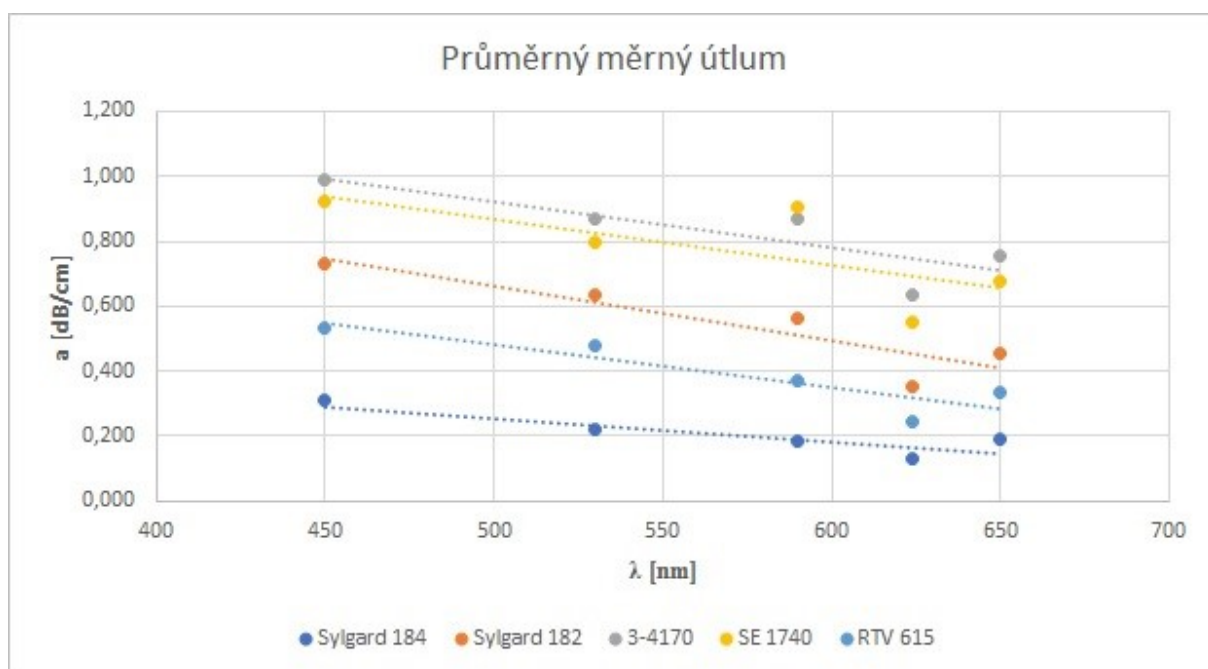
	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Vzorek č.1	0,619	0,564	0,441	0,305	0,415
Vzorek č.2	0,546	0,477	0,369	0,250	0,336
Vzorek č.3	0,511	0,539	0,400	0,271	0,367
Vzorek č.4	0,510	0,460	0,361	0,224	0,331
Vzorek č.5	0,593	0,486	0,390	0,252	0,340
Vzorek č.6	0,505	0,430	0,318	0,194	0,305
Vzorek č.7	0,546	0,506	0,385	0,262	0,356
Vzorek č.8	0,616	0,517	0,369	0,256	0,350
Vzorek č.9	0,417	0,372	0,318	0,207	0,274
Vzorek č.10	0,494	0,463	0,357	0,201	0,294
Průměrná hodnota	0,536	0,482	0,371	0,242	0,337
Rozptyl	3,491E-03	2,732E-03	1,214E-03	1,104E-03	1,442E-03

4.6.6 Srovnání měrného útlumu

V tabulce 4.7 jsou zobrazeny průměrné měrné útlumy všech použitých PDMS. Na obrázku 4.12 je graf zobrazující tyto měrné útlumy. Z grafu je vidět, že tyto vybrané PDMS jsou v závislosti na použité vlnové délce stejně ovlivňovány. Z provedeného měření dosahoval nejlepších hodnot Sylgard 184 a Momentive RTV 615. Ačkoliv měly tyto dva materiály nejlepší útlumy, nebyly by vhodné pro výrobu polymerových optických vláken. V případě nejlepšího naměřeného útlumu u Sylgardu 184 na vlnové délce 624 nm 0,130 dB/cm by útlum byl neuvěřitelných 13000 dB/km, což je pro přenos jakýchkoliv dat nepoužitelné.

Tabulka 4.8: Průměrné hodnoty měrného útlumu

	Modrá	Zelená	Žlutá	Červená	Bílá
Vlnová délka [nm]	450	530	590	624	
Měrný útlum [dB/cm]					
Sylgard 184	0,309	0,218	0,185	0,130	0,191
Sylgard 182	0,732	0,636	0,565	0,353	0,458
3-4170	0,990	0,870	0,872	0,634	0,758
SE 1740	0,923	0,800	0,903	0,554	0,675
RTV 615	0,536	0,482	0,371	0,242	0,337

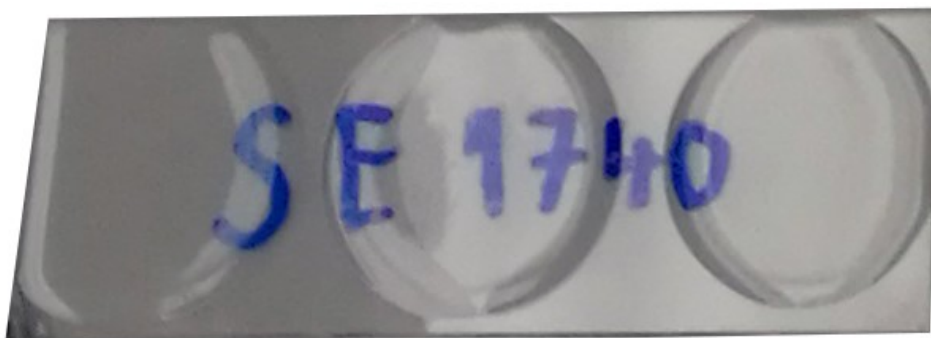


Obrázek 4.12: Graf průměrného měrného útlumu

Bílá LED dioda je na grafu zobrazena na vlnové délce 650 nm, ale bílá barva se rozprostírá po celém viditelném spektru. Zde je uvedena na 650 nm, za účelem vyobrazení v grafu.

4.7 Měření indexu lomu

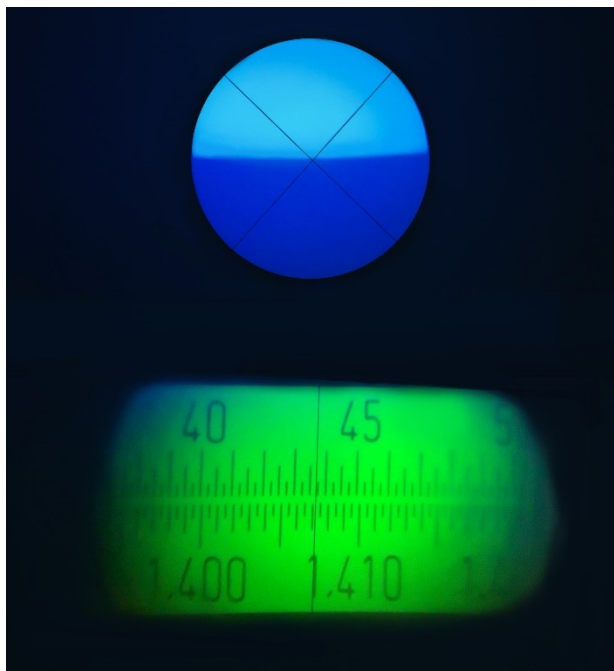
Jelikož dostupný refraktometr ABBE AR4 neumožňoval provést měření indexu lomu, na již vytvořených optických vlnovodech, musely být pro tyto měření vytvořené nové prvky. Do refraktometru šly vkládat pouze tenké plátky o výšce maximálně pár milimetrů. Proto pro měření vytvrdnutých PDMS, byly na mikroskopická krycí sklíčka nakapány přibližně 3 kapky polydimethylsiloxanu, které dosahovaly maximální výšky pro umístění do refraktometru a bylo na nich možné provést měření. Tato mikroskopická sklíčka i s nakapanými polydimethylsiloxany byla vložena do trouby. Všechny tyto měřicí prvky byly vytvrzované naráz, při teplotě 80 °C po dobu jedné hodiny. Na obrázku 4.13 jsou zobrazeny prvky z Dow Corning SE 1740, na kterých bylo prováděno měření indexu lomu.



Obrázek 4.13: Vytvrzené prvky ze SE 1740 pro měření indexu lomu

Nejprve bylo prováděno měření na čerstvě přichystané směsi v tekutém stavu. Na sklíčko refraktometru se nanese kapka PDMS a provedlo se měření na dané vlnové délce. Následně se vyměnila LED dioda, tak aby se změřil index lomu na jiné vlnové délce. Takhle se vyměnilo všech 5 LED diod, při kterém vždy proběhlo zapsání hodnoty. Následně došlo k výměně materiálu, při kterém se očistilo sklíčko, na které byl daný typ nanesen. Protože PDMS v tekuté formě je mastný, čištění refraktometru bylo obtížné a po každém očištění se prováděla kalibrace z důvodu zajištění přesnosti. Ta spočívala v nanesení kapky destilované vody a změření indexu lomu. Index destilované vody je známý a pohybuje se od 1,33 do 1,333. Pokud byla naměřená hodnota v tomto rozmezí, sklíčko refraktometru se usušilo a nanese se další kapka PDMS. V případě, že hodnota indexu lomu vody byla jiná než uváděná hodnota, čištění sklíčka se provádělo znova tak dlouho, dokud naměřená hodnota nesouhlasila s hodnotou uváděnou.

Refraktometr svým vzhledem připomínal mikroskop. Pohled do refraktometru je zobrazen na obrázku č 4.14. Při měření se nejprve sledovala vrchní kruhová část, která se musela nejprve zaostřit a následně posunout tak, aby přechod mezi prostředními byl přesně v polovině a dotýkal se středu kříže stejně jako je možné vidět na obrázku 4.14. Po této kalibraci se provedlo odečtení hodnoty ze spodní části. Například na obrázku 4.14 je zobrazen index lomu 1,407. Po naměření tekutých PDMS proběhlo měření vytvrzených prvků, které probíhalo stejně jako měření kapalných PDMS.



Obrázek 4.14: Pohled do refraktometru při modré barvě o vlnové délce 450 nm

Naměřený index lomu pro tekuté i tuhé polydimethylsiloxany byl rozdílný v pouhých tisícinách. Tyto rozdíly mohly být způsobené pouhým odečítáním ze stupnice, popřípadě když se do měření započte udávaná přesnost $\pm 0,0002$, tak jsou hodnoty indexu lomu tuhého i tekutého PDMS shodné. V tabulkách níže jsou uvedeny průměrné hodnoty z 10 vzorků zaokrouhlené na 3 desetinná místa.

4.7.1 Modrá LED dioda – 470 nm

Tabulka 4.9: Průměrný index lomu pro modrou barvu – 470 nm

Index lomu [-]		
	Tekuté	Vytvrzené
Sylgard 182	1,4095	1,40905
Sylgard 184	1,4095	1,4099
3-4170	1,404	1,40375
SE 1740	1,404	1,40275
RTV 615	1,408	1,406

4.7.2 Zelená LED dioda – 530 nm

Tabulka 4.10: Průměrný index lomu pro zelenou barvu – 530 nm

Index lomu [-]		
	Tekuté	Vytvrzené
Sylgard 182	1,409	1,409
Sylgard 184	1,409	1,409
3-4170	1,404	1,404
SE 1740	1,404	1,404
RTV 615	1,408	1,408

4.7.3 Žlutá LED dioda – 590 nm

Tabulka 4.11: *Průměrný index lomu pro žlutou barvu – 590 nm*

Index lomu [-]		
	Tekuté	Vytvrzené
Sylgard 182	1,410	1,409
Sylgard 184	1,410	1,41
3-4170	1,404	1,405
SE 1740	1,404	1,404
RTV 615	1,408	1,408

4.7.4 Červená LED dioda – 624 nm

Tabulka 4.12: *Průměrný index lomu pro červenou barvu – 624 nm*

Index lomu [-]		
	Tekuté	Vytvrzené
Sylgard 182	1,410	1,409
Sylgard 184	1,410	1,410
3-4170	1,404	1,404
SE 1740	1,404	1,403
RTV 615	1,408	1,406

4.7.5 Bílá LED dioda

Tabulka 4.13: *Průměrný index lomu pro bílou barvu*

Index lomu [-]		
	Tekuté	Vytvrzené
Sylgard 182	1,410	1,409
Sylgard 184	1,410	1,410
3-4170	1,405	1,404
SE 1740	1,404	1,403
RTV 615	1,408	1,406

4.7.6 Srovnání indexů lomů

Pouze v dokumentaci od Sylgard 184 je u indexu lomu uvedeno pro jakou vlnovou délku je uváděn. Při měření indexu lomu, byl malý rozsah vlnových délek, a tak se jednotlivé indexy lomu moc nelišily. Z důvodu porovnatelnosti jsou v tabulce 4.13 uvedeny průměry indexů lomů, naměřených na všech vlnových délkách, zaokrouhleny na 3 desetinná místa.

Tabulka 4.14: *Porovnání naměřeného průměrného indexu lomu s udávaným indexem lomu*

	Index lomu [-]	
	Uváděný	Naměřený
Sylgard 182	1,41	1,409
Sylgard 184	1,3997-1,4225	1,410
3-4170		1,404
SE 1740	1,4	1,403
RTV 615	1,406	1,406

Vidíme, že každý polydimethylsiloxan má rozdílný index lomu, a proto by se mohlo uvažovat o vytváření vícevrstevných struktur.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo změřit optické parametry různých typů polydimethylsiloxanu. Pro tento účel byly vytvořeny válcové struktury připomínající optická vlákna, na kterých bylo provedené příslušné měření.

Při měření útlumu jsem zaznamenal několik parametru, které mi negativně ovlivňovaly naměřený útlum. Prvním z nich byly nečistoty. Na vytvořené válcové struktury se během měření nalepoval prach. V průběhu měření bylo i okem viditelné, že vlivem nečistot na povrchu těchto vlnodů, dochází k pohlcování části světelného paprsku. Pro vyšší přesnost měření by bylo vhodné provádět měření ve sterilním prostředí. Pokoušel jsem se tyto vlnovody vyčistit různými materiály jako je voda nebo technický líh, ale nic z toho nepomohlo. Další ovlivňující faktor bylo provedení řezu. Při použití různých nožů docházelo k nerovnostem, které pak ovlivňovaly navazování světelného paprsku do vlnovodu. Z toho důvodu byla vytvořena řezací soustava, na které šlo provést mnohem kvalitnější řezy. I přesto jsem zaznamenal, že i pouhý směr vlnovodu ovlivňuje naměřený výkon, a proto jsem všechny série měření prováděl ve stejném směru vlnodů, aby nedocházelo ke zkreslování naměřených hodnot. Dalším ovlivňujícím faktorem byla rovnost vyrobeného vlnovodu.

U všech typů polydimethylsiloxanu byla útlumově nejvhodnější vlnová délka 624 nm, tedy červená LED dioda. Z použitých PDMS bych z naměřených parametrů i materiálových vlastností doporučil jen Sylgard 184 a Momentive RTV 615. U těchto silikonů bylo dosahováno nejmenšího útlumu. Na Sylgardu 184 byl nejmenší průměrný měrný útlum 0,130 dB/cm a u RTV 615 bylo naměřeno 0,242 dB/cm. Bohužel ani tyto silikonové materiály by se nehodily pro výrobu polymerových optických vláken, protože v případě přepočtu měrného útlumu na kilometry by docházelo k útlumům až desítky tisíc decibelů na kilometr. V případě rozhodování mezi těmito dvěma PDMS, bych volil Momentive RTV 615 z důvodu mnohonásobně nižší ceny. Například pro zapouzdřování elektronických součástek by ničemu neškodila nižší světelná propustnost.

Jelikož použitý refraktometr je primárně určen pro tekuté materiály, bylo obtížnější na něm měřit plátky vyrobené z PDMS. V některých případech jsem musel plátek umístit do refraktometru opakovaně, protože někdy nedošlo k prosvícení materiálu, a tak nebylo možné ze stupnice odečíst hodnotu indexu lomu. Naměřené indexy lomu přibližně souhlasily s těmi uváděnými v dokumentacích. Průměrný index lomu se pohyboval od 1,4 do 1,412. Vlivem rozdílu indexu lomu, by se mohlo uvažovat o měření útlumu na vícevrstvých válcových strukturách, které by byly obtížnější pro výrobu.

Použitá literatura

- [1] VACEK, Radomír. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie: Optická vlákna [online]. 43. Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 1998, s. 29-38 [cit. 2017-02-12]. ISBN 0032-2423. ISSN 0032-2423. Dostupné z: http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/138474/PokrokyMFA_43-1998-1_3.pdf
- [2] DOLEŽAL, Ondřej. Využití POF v přístupových sítích [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69069. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [3] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky: optoelektronické prvky a optická vlákna. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [4] VÁCLAVÍK, Adam. Analýza optických prvků z Polydimethylsiloxanu (PDMS) [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/115972/VAC0058_FEI_N2647_2601T013_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Petr Šiška.
- [5] PUNČOCHÁŘ, J. 2. kapitola: Přenosová cesta optická [online]. (6) [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/AEO/sylaby/AEO_02.pdf
- [6] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna [online]. 2.1.3. Ostrava, 2006 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>
- [7] ZIEMANN, Olaf. POF handbook: optical short range transmission systems. 2nd ed. Berlin: Springer, c2008. ISBN 9783540766292.
- [8] MARTIN, Mitrič. POLYMEROVÁ OPTICKÁ VLÁKNA – POF [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42629. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [9] SCHEJBALOVÁ, H., I. STIBOR, I. PROKOPOVÁ a D. LUKÁŠ. Polymerizace cyklických sloučenin (monomerů) [online]. VIII.6.2.4. 2013 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1772/course/section/1044/VIII_6_2_4%20Polymerizace%20cyklickych%20sloucenin%2012_2013.pdf
- [10] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [11] NOVÁK, Martin. Studium optických vlnovodů z polydimethylsiloxanu [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/108613/NOV995_FEI_N2647_2601T013_2015.pdf. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Vladimír vašínek.

[12] ŠTEGBAUER, Radek. Silikony v elektrotechnice [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/10049/1/DP%20Silikony%20v%20elektrotechnice%20-%20Radek%20Stegbauer.pdf>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Eva Kučerová, CSc.

[13] SYLGARD® 182 SILICONE ELASTOMER KIT [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=130EN>

[14] SYLGARD® 184 SILICONE ELASTOMER KIT [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=131EN>

[15] DOW CORNING® 3-4170 DIELECTRIC GEL KIT [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.dowcorning.com/applications/search/products/details.aspx?prod=03322921&type=PROD>

[16] DOW CORNING® SE 1740 [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=2154EN>

[17] RTV 615 [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.elchemco.cz/zbozi/11/rtv-615/>

Seznam příloh

Příloha A:	<i>Sylgard 184 – naměřené optické parametry</i>	<i>I</i>
Příloha B:	<i>Sylgard 182 – naměřené optické parametry</i>	<i>IV</i>
Příloha C:	<i>Dow Corning 3-4170 – naměřené optické parametry</i>	<i>VIII</i>
Příloha D:	<i>Dow Corning SE 1740 – naměřené optické parametry</i>	<i>XI</i>
Příloha E:	<i>Momentive RTV 615 – naměřené optické parametry</i>	<i>XV</i>

Příloha A: *Sylgard 184 – naměřené optické parametry*

Modrá LED dioda - 470nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	11,446	11,381	12,477	12,548	12,432	12,286	12,130	12,020	11,971	11,986
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	6,101	5,857	6,009	6,340	6,105	6,223	6,148	6,081	6,491	6,354
Vzorek č.2	6,029	6,414	7,054	6,235	5,864	5,828	5,700	5,902	5,657	6,347
Vzorek č.3	5,509	5,782	6,423	6,323	6,530	6,041	6,173	6,029	5,957	6,086
Vzorek č.4	5,834	6,068	6,286	6,160	6,024	6,075	6,256	6,272	6,083	6,449
Vzorek č.5	6,137	6,236	6,168	6,330	5,977	6,073	5,737	5,859	5,700	6,108
Vzorek č.6	5,899	5,661	5,985	5,774	5,747	5,728	5,978	5,629	5,248	5,890
Vzorek č.7	5,734	5,921	6,523	6,426	6,207	5,413	5,699	5,306	5,954	5,975
Vzorek č.8	6,101	6,162	6,449	6,745	6,034	6,293	6,086	5,924	5,559	6,195
Vzorek č.9	5,844	5,692	5,870	5,350	5,269	5,327	5,130	5,152	5,094	5,329
Vzorek č.10	5,860	6,171	6,113	5,848	5,492	5,079	5,332	5,264	5,074	5,178

Zelená LED dioda - 530nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	5,658	5,625	5,580	5,546	5,641	5,518	5,432	5,487	5,414	5,440
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	3,434	3,312	3,345	3,388	3,307	3,371	3,415	3,222	3,348	3,359
Vzorek č.2	3,189	3,166	3,217	3,058	3,338	3,140	3,280	3,403	3,180	3,396
Vzorek č.3	3,645	3,506	3,636	3,670	3,643	3,504	3,734	3,872	3,799	3,703
Vzorek č.4	3,233	3,029	3,110	3,263	3,062	3,176	3,230	3,318	3,226	3,302
Vzorek č.5	3,617	3,132	3,262	3,298	3,444	3,273	3,403	3,391	3,437	3,311
Vzorek č.6	3,218	3,161	3,143	3,229	3,409	3,036	3,307	3,418	3,380	3,359
Vzorek č.7	3,003	3,181	3,238	3,284	3,409	3,252	3,178	3,489	3,417	3,388
Vzorek č.8	3,323	3,347	3,272	3,203	3,368	3,408	3,477	3,349	3,547	3,437
Vzorek č.9	3,311	3,202	3,047	3,209	3,154	3,387	3,201	3,383	3,275	3,207
Vzorek č.10	3,460	3,428	3,333	3,432	3,757	3,680	3,716	3,723	3,581	3,703

Žlutá LED dioda - 590nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,069	1,055	1,082	1,078	1,071	1,073	1,084	1,072	1,062	1,109
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,706	0,754	0,692	0,743	0,720	0,719	0,720	0,716	0,726	0,716
Vzorek č.2	0,724	0,700	0,686	0,719	0,695	0,681	0,672	0,658	0,682	0,674
Vzorek č.3	0,706	0,689	0,740	0,752	0,747	0,747	0,719	0,735	0,766	0,735
Vzorek č.4	0,681	0,664	0,643	0,643	0,701	0,685	0,703	0,711	0,691	0,685
Vzorek č.5	0,774	0,774	0,743	0,758	0,748	0,660	0,676	0,713	0,728	0,748
Vzorek č.6	0,689	0,703	0,706	0,691	0,691	0,677	0,661	0,730	0,705	0,698
Vzorek č.7	0,733	0,732	0,704	0,648	0,692	0,705	0,656	0,648	0,644	0,655
Vzorek č.8	0,664	0,725	0,648	0,708	0,647	0,682	0,655	0,673	0,695	0,705
Vzorek č.9	0,709	0,698	0,660	0,647	0,671	0,638	0,700	0,711	0,690	0,658
Vzorek č.10	0,759	0,746	0,750	0,746	0,728	0,712	0,732	0,714	0,729	0,741

Červená LED dioda - 624nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,938	1,932	1,939	1,945	1,995	1,988	1,989	1,982	1,975	1,982
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,442	1,404	1,506	1,405	1,510	1,418	1,504	1,455	1,471	1,421
Vzorek č.2	1,297	1,353	1,346	1,559	1,442	1,480	1,416	1,459	1,386	1,415
Vzorek č.3	1,450	1,455	1,431	1,580	1,540	1,577	1,549	1,408	1,568	1,535
Vzorek č.4	1,356	1,406	1,337	1,507	1,448	1,444	1,421	1,548	1,475	1,449
Vzorek č.5	1,289	1,571	1,536	1,405	1,563	1,559	1,566	1,585	1,501	1,552
Vzorek č.6	1,323	1,361	1,403	1,493	1,539	1,567	1,534	1,542	1,491	1,551
Vzorek č.7	1,424	1,450	1,434	1,486	1,446	1,496	1,510	1,459	1,578	1,471
Vzorek č.8	1,202	1,233	1,396	1,413	1,392	1,504	1,411	1,382	1,450	1,432
Vzorek č.9	1,424	1,178	1,415	1,483	1,431	1,484	1,507	1,403	1,441	1,412
Vzorek č.10	1,427	1,445	1,510	1,535	1,480	1,525	1,538	1,507	1,524	1,518

Bílá LED dioda										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	9,045	8,833	8,855	8,726	8,781	8,765	9,325	5,753	8,973	9,019
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	5,400	5,727	5,795	5,471	5,529	5,611	6,072	5,865	6,029	5,969
Vzorek č.2	5,220	5,560	5,340	5,080	5,094	5,244	5,515	5,403	5,558	5,507
Vzorek č.3	5,487	5,899	5,532	5,729	5,596	5,861	6,097	6,202	6,104	6,209
Vzorek č.4	4,896	5,035	5,097	5,140	5,147	5,310	5,600	5,508	5,484	5,289
Vzorek č.5	5,174	5,618	5,607	5,488	5,413	5,455	5,806	5,903	6,044	5,517
Vzorek č.6	5,483	5,655	5,234	5,223	5,266	5,337	5,631	5,651	5,554	5,514
Vzorek č.7	5,403	5,365	5,448	5,247	5,153	5,145	5,389	5,448	5,515	5,572
Vzorek č.8	5,292	5,501	5,483	5,447	5,335	5,312	5,901	5,704	5,673	5,315
Vzorek č.9	5,202	5,112	5,166	5,301	5,198	5,188	5,488	5,809	5,652	5,300
Vzorek č.10	5,387	5,676	5,525	5,727	5,418	5,682	5,963	5,615	5,753	5,687

Sylgard 182 - tuhý					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,409	1,409	1,409	1,409	1,409
Vzorek č.2	1,409	1,409	1,409	1,4085	1,409
Vzorek č.3	1,4085	1,409	1,409	1,409	1,409
Vzorek č.4	1,4095	1,41	1,409	1,409	1,4085
Vzorek č.5	1,409	1,409	1,4085	1,409	1,409
Vzorek č.6	1,4095	1,409	1,409	1,4085	1,409
Vzorek č.7	1,409	1,409	1,409	1,409	1,409
Vzorek č.8	1,4085	1,409	1,4085	1,409	1,4095
Vzorek č.9	1,409	1,409	1,409	1,409	1,409
Vzorek č.10	1,4095	1,41	1,4095	1,4095	1,409
Průměrná hodnota	1,40905	1,4092	1,40895	1,40895	1,409

Sylgard 182 - kapalný					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4095	1,4085	1,4095	1,409	1,4095
Vzorek č.2	1,409	1,409	1,409	1,4095	1,409
Vzorek č.3	1,41	1,408	1,409	1,409	1,41
Vzorek č.4	1,409	1,409	1,4095	1,409	1,4095
Vzorek č.5	1,4095	1,408	1,409	1,41	1,409
Vzorek č.6	1,409	1,4085	1,4095	1,4095	1,41
Vzorek č.7	1,4095	1,408	1,409	1,4095	1,4095
Vzorek č.8	1,41	1,4085	1,409	1,41	1,41
Vzorek č.9	1,41	1,409	1,4085	1,41	1,409
Vzorek č.10	1,4095	1,4085	1,409	1,4095	1,4095
Průměrná hodnota	1,4095	1,4085	1,4091	1,4095	1,4095

Příloha B: *Sylgard 182– naměřené optické parametry*

Modrá LED dioda - 470nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	10,974	10,950	11,171	11,153	11,260	11,311	11,275	11,242	11,346	11,374
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,855	1,785	2,251	2,088	2,185	2,086	1,989	2,003	2,146	2,077
Vzorek č.2	1,962	1,992	2,046	1,921	1,954	1,828	1,976	1,835	1,796	1,904
Vzorek č.3	1,918	2,136	2,176	2,220	2,191	2,221	2,190	2,240	2,297	2,266
Vzorek č.4	2,134	2,324	2,347	2,076	2,170	2,167	2,055	2,231	2,381	2,357
Vzorek č.5	1,764	1,982	1,957	1,834	1,993	1,966	1,942	1,896	1,919	1,969
Vzorek č.6	2,099	2,193	2,338	2,109	2,218	2,299	2,188	2,220	2,246	2,399
Vzorek č.7	1,960	2,256	2,235	2,245	2,330	2,138	2,292	2,243	2,214	2,431
Vzorek č.8	1,995	2,143	2,190	2,119	2,074	2,117	2,164	2,153	2,132	2,224
Vzorek č.9	1,828	1,821	1,917	1,836	2,014	1,879	1,801	1,943	1,936	1,905
Vzorek č.10	2,066	2,027	1,940	2,106	1,996	1,953	2,058	1,930	2,192	2,055

Zelená LED dioda - 530 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	5,744	5,752	5,792	5,766	5,796	5,787	5,683	5,756	5,781	5,769
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,378	1,238	1,282	1,265	1,312	1,433	1,403	1,272	1,358	1,375
Vzorek č.2	1,323	1,408	1,305	1,296	1,323	1,358	1,301	1,270	1,266	1,319
Vzorek č.3	1,313	1,294	1,350	1,304	1,295	1,352	1,294	1,281	1,307	1,347
Vzorek č.4	1,343	1,268	1,231	1,229	1,285	1,306	1,262	1,288	1,233	1,279
Vzorek č.5	1,313	1,264	1,289	1,247	1,239	1,240	1,246	1,308	1,207	1,229
Vzorek č.6	1,444	1,473	1,554	1,531	1,510	1,450	1,429	1,457	1,447	1,427
Vzorek č.7	1,298	1,342	1,313	1,271	1,342	1,342	1,298	1,341	1,372	1,320
Vzorek č.8	1,395	1,438	1,426	1,439	1,445	1,419	1,449	1,451	1,396	1,434
Vzorek č.9	1,313	1,330	1,308	1,329	1,292	1,273	1,228	1,267	1,231	1,259
Vzorek č.10	1,378	1,296	1,363	1,350	1,296	1,383	1,345	1,341	1,321	1,400

Žlutá LED dioda - 590 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,329	1,322	1,284	1,296	1,299	1,284	1,300	1,288	1,282	1,216
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,381	0,356	0,383	0,380	0,366	0,349	0,355	0,378	0,374	0,364
Vzorek č.2	0,342	0,330	0,364	0,371	0,356	0,364	0,341	0,363	0,370	0,362
Vzorek č.3	0,321	0,312	0,313	0,318	0,322	0,311	0,319	0,316	0,312	0,308
Vzorek č.4	0,328	0,326	0,316	0,317	0,314	0,308	0,317	0,318	0,313	0,317
Vzorek č.5	0,365	0,343	0,330	0,354	0,350	0,365	0,339	0,365	0,358	0,371
Vzorek č.6	0,414	0,391	0,385	0,377	0,409	0,420	0,392	0,398	0,388	0,400
Vzorek č.7	0,319	0,316	0,321	0,313	0,315	0,311	0,306	0,314	0,303	0,311
Vzorek č.8	0,395	0,388	0,379	0,386	0,373	0,396	0,389	0,381	0,386	0,382
Vzorek č.9	0,353	0,372	0,345	0,354	0,342	0,357	0,363	0,365	0,359	0,362
Vzorek č.10	0,378	0,344	0,370	0,354	0,353	0,350	0,372	0,377	0,354	0,374

Červená LED dioda - 624 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	2,124	2,111	2,108	2,13	2,126	2,118	2,077	2,152	2,141	2,172
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,982	0,937	0,944	0,968	0,941	0,976	0,960	0,947	1,019	1,007
Vzorek č.2	0,972	1,016	0,987	0,970	1,008	1,017	0,997	0,994	1,001	0,974
Vzorek č.3	0,842	0,860	0,803	0,844	0,838	0,835	0,825	0,832	0,869	0,859
Vzorek č.4	0,861	0,800	0,855	0,824	0,825	0,851	0,916	0,830	0,808	0,800
Vzorek č.5	0,853	0,991	0,950	0,101	0,100	0,989	0,974	0,964	0,932	0,957
Vzorek č.6	1,059	1,128	1,070	1,103	1,091	1,083	1,053	1,069	1,058	1,050
Vzorek č.7	0,803	0,837	0,841	0,846	0,833	0,846	0,816	0,822	0,814	0,822
Vzorek č.8	1,070	1,031	1,066	1,044	1,033	1,020	1,017	1,012	1,007	1,002
Vzorek č.9	0,919	0,941	0,925	0,975	0,100	1,020	0,970	0,966	0,979	0,975
Vzorek č.10	0,983	0,917	0,103	0,943	0,934	0,972	0,955	0,980	0,948	0,990

Bílá LED dioda										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	7,519	7,546	7,558	7,716	7,653	7,536	7,625	7,533	7,625	7,592
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	2,423	2,878	3,072	3,111	2,713	2,614	2,720	2,650	3,161	3,015
Vzorek č.2	2,232	2,744	2,300	2,464	2,769	2,829	2,693	2,796	2,878	2,772
Vzorek č.3	2,359	2,331	2,424	2,510	2,508	2,544	2,597	2,607	2,588	2,363
Vzorek č.4	2,429	2,322	2,254	2,281	2,349	2,158	2,387	2,326	2,413	2,377
Vzorek č.5	2,613	2,715	2,505	2,553	2,900	2,742	2,797	2,607	2,810	2,892
Vzorek č.6	3,000	2,862	2,839	2,907	3,277	2,860	3,126	2,901	2,871	2,827
Vzorek č.7	2,404	2,356	2,306	2,328	2,409	2,455	2,345	2,488	2,315	2,572
Vzorek č.8	2,952	2,808	2,785	2,814	2,907	2,892	2,855	2,820	2,977	3,005
Vzorek č.9	2,564	2,655	2,707	2,595	2,841	2,755	2,720	2,704	2,667	2,612
Vzorek č.10	2,396	2,690	2,642	2,776	2,855	2,654	2,551	2,737	2,490	2,684

Sylgard 184 - tuhý					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,41	1,411	1,4105	1,4105	1,41
Vzorek č.2	1,4095	1,41	1,4095	1,4095	1,41
Vzorek č.3	1,41	1,41	1,4095	1,41	1,4105
Vzorek č.4	1,41	1,4105	1,41	1,41	1,41
Vzorek č.5	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Vzorek č.6	1,4095	1,41	1,41	1,41	1,4105
Vzorek č.7	1,41	1,41	1,4095	1,4095	1,41
Vzorek č.8	1,41	1,4095	1,41	1,41	1,41
Vzorek č.9	1,41	1,4095	1,4095	1,41	1,41
Vzorek č.10	1,41	1,411	1,41	1,4095	1,41
Průměrná hodnota	1,4099	1,41015	1,40985	1,4099	1,4101

Sylgard 184 - kapalný					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,41	1,4085	1,4105	1,4095	1,409
Vzorek č.2	1,4095	1,409	1,41	1,4095	1,4095
Vzorek č.3	1,4095	1,409	1,4095	1,409	1,4095
Vzorek č.4	1,409	1,4095	1,41	1,4095	1,41
Vzorek č.5	1,41	1,409	1,4105	1,41	1,41
Vzorek č.6	1,409	1,4085	1,4095	1,4095	1,409
Vzorek č.7	1,4095	1,409	1,41	1,4095	1,4095
Vzorek č.8	1,41	1,4095	1,4095	1,409	1,41
Vzorek č.9	1,4095	1,409	1,4105	1,41	1,4095
Vzorek č.10	1,409	1,409	1,41	1,4095	1,409
Průměrná hodnota	1,4095	1,409	1,41	1,4095	1,4095

Příloha C: *Dow Corning 3-4170 – naměřené optické parametry*

Modrá LED dioda - 470nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	11,541	11,346	11,379	11,508	11,491	11,541	11,501	11,493	11,432	11,509
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,589	1,505	1,517	1,575	1,598	1,521	1,554	1,448	1,499	1,529
Vzorek č.2	1,153	1,119	1,110	1,029	1,089	1,123	1,127	1,133	1,121	1,095
Vzorek č.3	1,239	1,151	1,209	1,182	1,213	1,263	1,205	1,175	1,219	1,241
Vzorek č.4	0,972	0,982	0,986	0,945	1,007	0,973	0,975	1,014	1,009	0,975
Vzorek č.5	1,379	1,272	1,292	1,304	1,338	1,350	1,281	1,320	1,244	1,237
Vzorek č.6	1,068	1,022	1,069	1,095	1,039	1,104	1,050	1,033	1,096	1,116
Vzorek č.7	1,227	1,144	1,155	1,195	1,136	1,224	1,217	1,203	1,173	1,207
Vzorek č.8	0,851	0,955	1,063	1,024	1,044	1,019	1,077	1,081	1,097	1,071
Vzorek č.9	1,293	1,408	1,347	1,361	1,347	1,331	1,342	1,363	1,413	1,416
Vzorek č.10	1,012	1,124	1,096	1,043	1,078	1,056	1,074	1,058	1,142	1,114

Zelená LED dioda - 530 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	6,267	6,216	6,192	6,211	6,306	6,282	6,264	6,233	6,205	6,219
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,046	1,034	1,060	1,133	1,113	1,071	1,064	1,133	1,048	1,095
Vzorek č.2	0,738	0,714	0,734	0,784	0,781	0,723	0,788	0,743	0,771	0,748
Vzorek č.3	0,715	0,796	0,825	0,786	0,833	0,822	0,837	0,810	0,827	0,872
Vzorek č.4	0,632	0,644	0,682	0,659	0,691	0,651	0,709	0,690	0,663	0,630
Vzorek č.5	0,986	1,002	0,993	0,951	0,961	1,009	0,986	0,973	0,919	0,962
Vzorek č.6	0,826	0,843	0,794	0,753	0,762	0,789	0,775	0,737	0,780	0,740
Vzorek č.7	0,939	0,927	0,901	0,914	0,894	0,916	0,871	0,842	0,819	0,902
Vzorek č.8	0,738	0,800	0,762	0,756	0,743	0,714	0,745	0,768	0,714	0,720
Vzorek č.9	0,981	0,958	1,038	1,073	1,011	0,973	0,951	1,035	1,011	1,016
Vzorek č.10	0,740	0,820	0,832	0,803	0,820	0,807	0,825	0,815	0,840	0,812

Žlutá LED dioda - 590 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,447	1,491	1,510	1,486	1,494	1,507	1,521	1,501	1,488	1,479
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,267	0,275	0,269	0,273	0,265	0,269	0,275	0,265	0,264	0,274
Vzorek č.2	0,169	0,182	0,170	0,173	0,172	0,169	0,167	0,168	0,173	0,176
Vzorek č.3	0,218	0,206	0,216	0,224	0,218	0,231	0,226	0,209	0,228	0,224
Vzorek č.4	0,149	0,154	0,152	0,164	0,167	0,163	0,166	0,158	0,168	0,173
Vzorek č.5	0,233	0,213	0,221	0,217	0,210	0,219	0,213	0,209	0,223	0,209
Vzorek č.6	0,172	0,186	0,190	0,194	0,195	0,189	0,185	0,194	0,197	0,195
Vzorek č.7	0,208	0,200	0,210	0,200	0,202	0,207	0,199	0,203	0,208	0,210
Vzorek č.8	0,153	0,163	0,155	0,157	0,171	0,163	0,170	0,176	0,170	0,167
Vzorek č.9	0,243	0,254	0,248	0,247	0,241	0,247	0,252	0,237	0,246	0,249
Vzorek č.10	0,193	0,185	0,179	0,192	0,182	0,185	0,177	0,189	0,189	0,192

Červená LED dioda - 624 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	2,179	2,153	2,233	2,250	2,175	2,178	2,138	2,136	2,211	2,187
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,579	0,615	0,668	0,685	0,663	0,633	0,640	0,659	0,635	0,653
Vzorek č.2	0,406	0,420	0,441	0,431	0,442	0,471	0,441	0,424	0,433	0,441
Vzorek č.3	0,455	0,421	0,524	0,558	0,514	0,578	0,541	0,551	0,520	0,536
Vzorek č.4	0,403	0,446	0,436	0,428	0,451	0,445	0,412	0,443	0,452	0,439
Vzorek č.5	0,533	0,523	0,624	0,545	0,505	0,550	0,527	0,557	0,547	0,502
Vzorek č.6	0,537	0,475	0,557	0,516	0,540	0,526	0,534	0,530	0,524	0,514
Vzorek č.7	0,596	0,574	0,646	0,632	0,657	0,674	0,643	0,653	0,666	0,628
Vzorek č.8	0,627	0,652	0,428	0,450	0,415	0,402	0,404	0,438	0,403	0,414
Vzorek č.9	0,473	0,463	0,475	0,440	0,438	0,461	0,447	0,452	0,445	0,477
Vzorek č.10	0,450	0,482	0,467	0,451	0,626	0,462	0,465	0,484	0,471	0,432

Bílá LED dioda										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	8,234	8,393	8,528	8,489	8,456	8,529	8,564	8,598	8,499	8,538
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,821	1,742	1,654	2,011	1,968	1,909	1,891	1,913	1,967	1,947
Vzorek č.2	1,265	1,311	1,249	1,272	1,180	1,298	1,325	1,392	1,269	1,325
Vzorek č.3	1,459	1,574	1,530	1,374	1,416	1,574	1,551	1,527	1,514	1,459
Vzorek č.4	1,219	1,251	1,226	1,079	1,105	1,112	1,104	1,071	1,085	1,102
Vzorek č.5	1,438	1,653	1,446	1,677	1,565	1,501	1,630	1,522	1,464	1,574
Vzorek č.6	1,534	1,586	1,365	1,381	1,407	1,535	1,620	1,579	1,604	1,611
Vzorek č.7	1,976	1,723	1,752	1,731	1,750	1,761	1,782	1,766	1,729	1,780
Vzorek č.8	1,259	1,230	1,243	1,166	1,212	1,254	1,241	1,162	1,190	1,110
Vzorek č.9	1,684	1,853	1,815	1,726	1,954	1,973	1,925	1,894	1,921	1,929
Vzorek č.10	1,288	1,313	1,238	1,260	1,248	1,374	1,386	1,354	1,367	1,402

Dow Corning 3-4170 - tuhý					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4035	1,404	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.2	1,4035	1,4035	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.3	1,404	1,4045	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.4	1,404	1,404	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.5	1,4035	1,404	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.6	1,404	1,4035	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.7	1,404	1,4045	1,4045	1,404	1,404
Vzorek č.8	1,4035	1,4035	1,404	1,4035	1,404
Vzorek č.9	1,4035	1,404	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.10	1,404	1,404	1,4035	1,404	1,404
Průměrná hodnota	1,40375	1,40395	1,404	1,40395	1,404

Dow Corning 3-4170 - kapalný					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4045	1,404	1,405	1,4045	1,4045
Vzorek č.2	1,404	1,4045	1,4045	1,405	1,405
Vzorek č.3	1,404	1,4035	1,405	1,405	1,4045
Vzorek č.4	1,4045	1,404	1,4045	1,4045	1,4045
Vzorek č.5	1,404	1,4035	1,4045	1,404	1,405
Vzorek č.6	1,404	1,404	1,404	1,4045	1,4045
Vzorek č.7	1,4035	1,404	1,4045	1,4045	1,404
Vzorek č.8	1,404	1,4045	1,4045	1,404	1,4045
Vzorek č.9	1,4035	1,404	1,4045	1,4045	1,4045
Vzorek č.10	1,404	1,404	1,404	1,4045	1,404
Průměrná hodnota	1,404	1,404	1,4045	1,4045	1,4045

Příloha D: *Dow Corning SE 1740 – naměřené optické parametry*

Modrá LED dioda - 470nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	10,844	10,961	10,813	10,881	10,855	10,996	10,898	10,895	10,846	10,846
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,179	1,161	1,192	1,155	1,121	1,124	1,168	1,137	1,107	1,130
Vzorek č.2	1,072	1,065	1,136	1,164	1,138	1,196	1,155	1,141	1,112	1,103
Vzorek č.3	1,338	1,395	1,633	1,425	1,432	1,524	1,588	1,455	1,591	1,588
Vzorek č.4	1,514	1,498	1,351	1,601	1,609	1,615	1,605	1,611	1,578	1,591
Vzorek č.5	1,342	1,306	1,254	1,283	1,303	1,242	1,327	1,394	1,408	1,355
Vzorek č.6	1,358	1,289	1,228	1,254	1,233	1,240	1,276	1,305	1,284	1,342
Vzorek č.7	1,446	1,327	1,337	1,284	1,342	1,312	1,332	1,327	1,302	1,341
Vzorek č.8	1,133	1,125	1,153	1,212	1,180	1,202	1,173	1,241	1,199	1,294
Vzorek č.9	1,172	1,173	1,194	1,172	1,223	1,217	1,195	1,247	1,207	1,211
Vzorek č.10	1,393	1,404	1,348	1,384	1,472	1,425	1,389	1,489	1,436	1,408

	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	5,485	5,489	5,516	5,503	5,493	5,511	5,499	5,521	5,532	5,498
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,837	0,828	0,841	0,824	0,840	0,836	0,808	0,859	0,861	0,829
Vzorek č.2	0,734	0,868	0,879	0,851	0,873	0,859	0,877	0,864	0,857	0,860
Vzorek č.3	1,055	1,037	1,012	1,038	1,008	0,981	1,062	1,073	1,014	1,007
Vzorek č.4	1,007	1,064	1,057	1,032	1,043	1,059	1,052	1,066	1,023	1,044
Vzorek č.5	0,915	0,944	0,912	0,972	0,985	0,948	0,998	0,989	0,965	0,930
Vzorek č.6	0,993	0,973	0,993	1,000	0,959	0,950	0,978	0,962	0,970	0,986
Vzorek č.7	1,047	0,992	0,990	0,943	0,996	0,977	1,046	1,013	1,015	1,004
Vzorek č.8	0,815	0,854	0,842	0,822	0,829	0,841	0,816	0,856	0,866	0,807
Vzorek č.9	0,857	0,873	0,849	0,827	0,838	0,839	0,872	0,867	0,846	0,870
Vzorek č.10	0,978	1,013	1,028	1,011	1,009	1,016	0,987	0,991	1,004	1,006

Žlutá LED dioda - 590 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,387	1,384	1,381	1,391	1,385	1,387	1,46	1,467	1,461	1,472
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,245	0,244	0,238	0,221	0,230	0,236	0,248	0,252	0,247	0,236
Vzorek č.2	0,207	0,217	0,212	0,236	0,238	0,225	0,228	0,213	0,247	0,250
Vzorek č.3	0,262	0,275	0,264	0,268	0,265	0,270	0,273	0,288	0,285	0,278
Vzorek č.4	0,236	0,291	0,280	0,294	0,285	0,291	0,270	0,281	0,285	0,297
Vzorek č.5	0,254	0,253	0,267	0,256	0,254	0,257	0,261	0,271	0,265	0,271
Vzorek č.6	0,252	0,266	0,274	0,266	0,271	0,277	0,265	0,273	0,281	0,271
Vzorek č.7	0,268	0,287	0,273	0,269	0,266	0,287	0,298	0,292	0,301	0,294
Vzorek č.8	0,250	0,249	0,275	0,261	0,237	0,271	0,255	0,271	0,271	0,283
Vzorek č.9	0,228	0,241	0,232	0,238	0,228	0,244	0,239	0,235	0,249	0,244
Vzorek č.10	0,270	0,265	0,257	0,274	0,282	0,276	0,272	0,283	0,286	0,278

Červená LED dioda - 624 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	2,020	2,024	2,059	2,099	2,103	2,098	2,089	2,094	2,093	2,097
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,436	0,475	0,520	0,581	0,561	0,575	0,532	0,557	0,576	0,563
Vzorek č.2	0,434	0,461	0,481	0,548	0,530	0,555	0,548	0,528	0,551	0,565
Vzorek č.3	0,565	0,592	0,602	0,684	0,701	0,691	0,676	0,680	0,672	0,684
Vzorek č.4	0,585	0,507	0,557	0,634	0,667	0,670	0,639	0,686	0,668	0,641
Vzorek č.5	0,511	0,496	0,502	0,607	0,598	0,624	0,596	0,615	0,602	0,633
Vzorek č.6	0,543	0,527	0,555	0,616	0,618	0,639	0,652	0,620	0,585	0,591
Vzorek č.7	0,540	0,535	0,537	0,637	0,609	0,633	0,639	0,654	0,634	0,629
Vzorek č.8	0,523	0,506	0,456	0,567	0,560	0,573	0,557	0,573	0,570	0,561
Vzorek č.9	0,473	0,511	0,482	0,569	0,531	0,556	0,568	0,565	0,554	0,561
Vzorek č.10	0,569	0,576	0,549	0,684	0,650	0,675	0,659	0,662	0,688	0,661

Bílá LED dioda										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	7,768	7,756	7,788	7,798	7,801	7,774	7,721	7,744	7,764	7,79
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,491	1,427	1,554	1,517	1,531	1,503	1,496	1,508	1,493	1,476
Vzorek č.2	1,584	1,515	1,521	1,471	1,501	1,531	1,502	1,523	1,542	1,531
Vzorek č.3	1,740	1,894	1,887	1,745	1,717	1,824	1,860	1,894	1,773	1,827
Vzorek č.4	1,764	1,832	1,984	1,873	1,893	1,901	1,847	1,812	1,907	1,810
Vzorek č.5	1,591	1,634	1,623	1,708	1,654	1,718	1,704	1,697	1,731	1,871
Vzorek č.6	1,577	1,661	1,810	1,727	1,783	1,763	1,734	1,809	1,754	1,673
Vzorek č.7	1,824	1,827	1,813	1,763	1,685	1,763	1,752	1,769	1,774	1,736
Vzorek č.8	1,488	1,501	1,571	1,563	1,473	1,343	1,501	1,471	1,421	1,433
Vzorek č.9	1,420	1,441	1,415	1,485	1,408	1,511	1,457	1,464	1,438	1,469
Vzorek č.10	1,671	1,808	1,711	1,763	1,825	1,857	1,714	1,821	1,794	1,789

Dow Corning SE 1740- tuhý					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4025	1,403	1,4025	1,4025	1,403
Vzorek č.2	1,4025	1,4025	1,403	1,403	1,403
Vzorek č.3	1,403	1,403	1,403	1,403	1,403
Vzorek č.4	1,403	1,403	1,403	1,403	1,403
Vzorek č.5	1,4025	1,403	1,4025	1,4025	1,4025
Vzorek č.6	1,403	1,403	1,403	1,4025	1,403
Vzorek č.7	1,403	1,403	1,403	1,4025	1,403
Vzorek č.8	1,4025	1,4025	1,4025	1,403	1,403
Vzorek č.9	1,403	1,4025	1,403	1,403	1,403
Vzorek č.10	1,4025	1,4025	1,403	1,403	1,403
Průměrná hodnota	1,40275	1,4028	1,40285	1,4028	1,40295

Dow Corning SE 1740- kapalný					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,404	1,404	1,4045	1,404	1,404
Vzorek č.2	1,404	1,404	1,404	1,404	1,4035
Vzorek č.3	1,4045	1,404	1,404	1,4045	1,404
Vzorek č.4	1,404	1,4045	1,4045	1,404	1,4045
Vzorek č.5	1,404	1,4035	1,4035	1,4035	1,404
Vzorek č.6	1,404	1,404	1,404	1,4035	1,404
Vzorek č.7	1,404	1,4035	1,404	1,404	1,404
Vzorek č.8	1,404	1,4045	1,404	1,4045	1,4045
Vzorek č.9	1,4035	1,404	1,4035	1,404	1,4035
Vzorek č.10	1,404	1,404	1,404	1,404	1,404
Průměrná hodnota	1,404	1,404	1,404	1,404	1,404

Příloha E: *Momentive RTV 615 – naměřené optické parametry*

Modrá LED dioda - 470nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	10,530	10,806	10,603	10,612	10,665	10,656	10,710	10,779	10,633	10,554
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	2,638	2,829	2,739	2,305	2,421	2,553	2,681	2,562	2,466	2,453
Vzorek č.2	2,935	3,049	3,238	2,977	3,021	2,941	2,988	2,936	3,050	3,157
Vzorek č.3	3,508	3,456	3,406	3,369	2,974	3,249	3,159	3,366	3,085	3,348
Vzorek č.4	3,471	3,201	3,413	3,117	3,347	3,261	3,187	3,439	3,218	3,292
Vzorek č.5	2,728	2,713	2,684	2,741	2,684	2,798	2,618	2,787	2,698	2,745
Vzorek č.6	3,220	3,324	3,671	3,353	3,217	3,337	3,216	3,428	3,217	3,387
Vzorek č.7	3,286	3,057	3,074	3,013	2,914	2,963	2,841	3,205	2,851	3,162
Vzorek č.8	2,754	2,658	2,855	2,554	2,471	2,378	2,389	2,761	2,611	2,424
Vzorek č.9	4,327	4,463	4,165	3,865	3,962	3,877	3,931	3,945	4,109	4,164
Vzorek č.10	3,437	3,514	3,284	3,241	3,371	3,524	3,345	3,543	3,485	3,401

Zelená LED dioda - 530 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	6,134	6,109	6,121	6,018	6,097	6,082	6,068	6,071	6,052	6,053
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	1,644	1,623	1,561	1,615	1,572	1,855	1,735	1,704	1,615	1,703
Vzorek č.2	2,018	2,030	1,971	2,016	2,073	2,065	2,011	1,965	2,007	2,120
Vzorek č.3	1,719	1,746	1,622	1,538	1,501	1,864	1,877	1,890	1,920	1,961
Vzorek č.4	2,140	2,130	2,134	2,073	2,126	2,105	2,096	2,108	2,099	2,082
Vzorek č.5	1,966	1,987	1,948	2,033	2,050	1,918	1,974	1,966	2,023	2,006
Vzorek č.6	2,163	2,065	1,917	2,084	2,445	2,358	2,377	2,468	2,456	2,309
Vzorek č.7	1,806	1,735	1,751	1,773	1,957	1,915	2,015	1,985	1,954	2,093
Vzorek č.8	1,642	1,556	1,519	1,589	2,139	2,027	2,056	2,068	2,038	1,996
Vzorek č.9	2,501	2,604	2,560	2,680	2,584	2,573	2,533	2,567	2,589	2,605
Vzorek č.10	2,070	2,029	2,035	2,062	2,174	2,078	2,114	2,143	2,136	2,078

Žlutá LED dioda - 590 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,178	1,181	1,213	1,210	1,191	1,221	1,216	1,210	1,215	1,217
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,432	0,464	0,433	0,414	0,440	0,433	0,447	0,426	0,444	0,435
Vzorek č.2	0,524	0,520	0,496	0,511	0,496	0,526	0,502	0,541	0,522	0,510
Vzorek č.3	0,452	0,475	0,492	0,486	0,472	0,485	0,504	0,501	0,467	0,462
Vzorek č.4	0,547	0,514	0,503	0,508	0,545	0,501	0,543	0,533	0,529	0,532
Vzorek č.5	0,494	0,475	0,498	0,490	0,489	0,497	0,499	0,485	0,491	0,493
Vzorek č.6	0,470	0,525	0,557	0,624	0,588	0,608	0,623	0,620	0,610	0,588
Vzorek č.7	0,496	0,492	0,495	0,454	0,509	0,529	0,500	0,482	0,499	0,516
Vzorek č.8	0,511	0,522	0,497	0,518	0,506	0,515	0,522	0,530	0,517	0,511
Vzorek č.9	0,581	0,533	0,647	0,558	0,531	0,585	0,628	0,564	0,528	0,648
Vzorek č.10	0,533	0,550	0,540	0,506	0,518	0,525	0,549	0,519	0,544	0,513

Červená LED dioda - 624 nm										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	1,927	1,930	1,912	1,927	1,919	1,919	1,902	1,921	1,923	1,917
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	0,934	0,947	1,001	0,940	0,969	0,944	0,923	0,950	0,972	0,938
Vzorek č.2	1,182	1,137	1,064	1,166	1,004	1,030	1,005	1,147	1,037	1,045
Vzorek č.3	1,016	1,027	1,021	1,066	1,007	1,068	1,006	1,027	1,015	1,027
Vzorek č.4	1,142	1,093	1,183	1,175	1,193	1,073	1,186	1,110	1,203	1,119
Vzorek č.5	1,054	1,127	1,043	1,074	1,125	1,050	1,077	1,116	1,036	1,059
Vzorek č.6	1,303	1,335	1,135	1,332	1,309	1,278	1,207	1,217	1,085	1,102
Vzorek č.7	1,011	1,186	1,067	1,003	1,012	1,023	1,102	1,010	1,081	1,017
Vzorek č.8	1,092	1,064	1,107	1,065	1,051	1,040	1,019	1,054	1,096	1,065
Vzorek č.9	1,254	1,184	1,205	1,162	1,103	1,265	1,218	1,145	1,178	1,201
Vzorek č.10	1,090	1,226	1,098	1,239	1,255	1,121	1,272	1,285	1,282	1,242

Bílá LED dioda										
	1. série	2. série	3. série	4. série	5. série	6. série	7. série	8. série	9. série	10. série
Vstupní výkon [mW]	7,352	7,303	7,328	7,304	7,391	7,301	7,374	7,348	7,372	7,369
	Výstupní výkon [mW]									
Vzorek č.1	2,918	3,003	2,784	2,647	2,803	2,702	2,940	2,820	2,747	2,884
Vzorek č.2	3,391	3,508	3,690	3,295	3,454	3,372	3,228	3,432	3,215	3,317
Vzorek č.3	3,155	3,104	3,204	3,122	3,215	3,164	3,066	3,223	3,144	3,123
Vzorek č.4	3,210	3,510	3,350	3,484	3,504	3,273	3,386	3,538	3,529	3,482
Vzorek č.5	3,197	3,521	3,293	3,351	3,380	3,356	3,263	3,344	3,470	3,408
Vzorek č.6	4,009	3,347	3,355	3,382	3,937	3,400	3,758	3,794	3,577	3,880
Vzorek č.7	3,182	3,051	3,332	3,153	3,224	3,451	3,317	3,162	3,336	3,177
Vzorek č.8	3,370	3,367	3,301	3,351	3,283	3,210	3,124	3,209	3,381	3,234
Vzorek č.9	3,710	4,083	3,922	4,157	3,835	3,984	3,733	3,741	3,879	4,035
Vzorek č.10	3,923	3,878	3,859	3,908	3,573	3,646	3,834	3,613	3,513	3,629

Momentive RTV 615 - tuhý					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4065	1,4065	1,407	1,407	1,407
Vzorek č.2	1,4055	1,406	1,4055	1,4055	1,4055
Vzorek č.3	1,406	1,406	1,405	1,4055	1,4055
Vzorek č.4	1,4065	1,4065	1,4065	1,4055	1,4055
Vzorek č.5	1,4065	1,406	1,406	1,406	1,406
Vzorek č.6	1,4055	1,406	1,4055	1,4055	1,406
Vzorek č.7	1,4065	1,4065	1,407	1,4065	1,4065
Vzorek č.8	1,4055	1,406	1,4055	1,4055	1,406
Vzorek č.9	1,406	1,4065	1,406	1,406	1,406
Vzorek č.10	1,4055	1,4065	1,406	1,406	1,406
Průměrná hodnota	1,406	1,40625	1,406	1,4059	1,406

Momentive RTV 615 - kapalný					
Vlnová délka [nm]	450	470	530	590	624
	Index lomu [-]				
Vzorek č.1	1,4085	1,408	1,408	1,4085	1,408
Vzorek č.2	1,408	1,408	1,408	1,408	1,4075
Vzorek č.3	1,4085	1,4085	1,4085	1,408	1,408
Vzorek č.4	1,408	1,408	1,4085	1,4085	1,408
Vzorek č.5	1,408	1,408	1,408	1,408	1,4075
Vzorek č.6	1,408	1,408	1,408	1,4075	1,407
Vzorek č.7	1,4075	1,4075	1,4075	1,408	1,407
Vzorek č.8	1,4075	1,408	1,408	1,408	1,4075
Vzorek č.9	1,408	1,408	1,4075	1,4075	1,407
Vzorek č.10	1,408	1,408	1,408	1,408	1,4075
Průměrná hodnota	1,408	1,408	1,408	1,408	1,4075